

Aus dem Institut für Umwelthygiene und Präventivmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg

Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. W. Gräf

Der Einfluß von Kläranlagenabwässern auf die Gewässerbakteriologie von Pegnitz und Regnitz zwischen Nürnberg und Erlangen



Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

Gabriele Pohl

aus Darmstadt

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. W. Kersten
Referent: Prof. Dr. Dr. W. Gräf
Koreferent: Prof. Dr. J. W. Rohen

Tag der mündlichen Prüfung: 28.07.1980

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1
2. <u>Zur Methode</u>	5
2.1 Untersuchte Flußstrecke mit Probenahmestellen	5
2.2 Beschreibung der Probenahmestelle 1-11	6
2.3 Ablauf der Probenahme	9
2.4 Auswertung der Proben	10
2.4.1 Untersuchung der Proben auf Myxobakterien	10
2.4.2 Untersuchung der Proben auf Escherichia coli	11
3. <u>Ergebnisse</u>	14
3.1 Entnahmestelle 1: Wöhrder See	14
3.2 Entnahmestelle 2: Pegnitz, westlich der Th.-Heuss-Brücke	18
3.3 Entnahmestelle 3: Auslauf des Klärwerks II, Nürnberg	21
3.4 Entnahmestelle 4: Pegnitz, Nürnberg-Muggenhof	25
3.5 Entnahmestelle 5: Auslauf des Klärwerks I, Nürnberg	29
3.6 Entnahmestelle 6: Zusammenfluß von Pegnitz und Rednitz im Stadtbereich Fürth	33
3.7 Entnahmestelle 7: Klärwerk Fürth	37
3.8 Entnahmestelle 8: Regnitz bei Vach	42
3.9 Entnahmestelle 9: Kläranlage Nord in Vach	46
3.10 Entnahmestelle 10: Erlangen, Regnitz	49
3.11 Entnahmestelle 11: Auslauf der Erlanger Kläranlage	53
4. <u>Diskussion</u>	56
4.1 Die direkten (E.coli) und indirekten (fruktifizierende Myxobakterien) Fäkalindikatoren im untersuchten Gewässerabschnitt	56
4.2 Fäkalbelastung und Selbstreinigungskraft des Gewässers	70
4.3 Einfluß von Trocken- und Regenperioden auf E.coli und fruktifizierende Myxobakterien	78
4.4 Verhalten von Temperatur und Fäkalindikatoren im untersuchten Gewässerabschnitt	83

5.	<u>Zusammenfassende Beurteilung</u>	96
	der Flußbelastung anhand der direkten und indirekten Fäkalindikatoren	

6.	<u>Literaturverzeichnis</u>	102
----	-----------------------------	-----

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat die vermehrte Belastung der Umwelt mit Abfallstoffen aller Art zunehmende Aufmerksamkeit gefunden. Die größere Verschmutzung der Oberflächengewässer mit Fäkalien und Abwasser bringt zwangsläufig auch eine Kontamination mit Krankheitserregern mit sich (z.B. Polioviren, Salmonellen, Shigellen). Dies ist ein ernstes Problem, besonders im Hinblick auf die steigende Nutzung von Oberflächengewässern zur Trinkwasseraufbereitung. Heute wird nach MEYER (1975) der Trinkwasserbedarf etwa zur Hälfte aus dem Grundwasser, zu einem Drittel aus Quellwasser und zu rund 15 % aus Oberflächenwasser gedeckt. Der Trinkwasserbedarf der Bevölkerung ist in den letzten 50 Jahren um das 40fache gestiegen, und die Nutzung der Oberflächengewässer zur Trinkwassergewinnung wird sich mit zunehmender Industrialisierung noch ausweiten. Fäkalbelastete Oberflächengewässer sind wegen des hohen Infektionsrisikos als Badegewässer seuchenhygienisch bedenklich und als Erholungsbereich für die Bevölkerung nur von geringem Wert.

Einhergehend mit der erhöhten Abwasserverschmutzung steigt die Notwendigkeit einer Überwachung von Oberflächengewässern und Kläranlagenabwässern.

Aufgrund des artenreichen Bakterienspektrums ist es

unmöglich, aber auch unnötig, bei einer Untersuchung alle Keime zu erfassen. Man geht vielmehr vom Indikatorgedanken aus und wählt dafür einen apathogenen, im Labor schnell und einfach zu kultivierenden Keim aus. Als Fäkalindikator direkter Art wird heute hauptsächlich das Bakterium *Escherichia coli* verwendet. *E. coli* wird beim Menschen und bei Warmblütern in großen Mengen im Darm vorgefunden. Seine Fähigkeit, sich in der Umwelt zu behaupten, ähnelt den Erregern infektiöser Darmerkrankungen. Der Nachweis von *E. coli* in Gewässerproben wird als Beweis einer fäkalen Verschmutzung angesehen.

Nach GRÄF (1975) ist allerdings auch dieses direkte bakterielle Indikatorverfahren mit Nachteilen behaftet: "Die genannten direkten Fäkalindikatoren unterliegen durch Verdünnung, Absterben oder Alterung in wässrigem Milieu einem fortschreitenden Abbau, der ihrem Indikatorvermögen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht Grenzen setzt."

Weil diese direkte Fäkalindikationsmethode Grenzen hat, ist es günstig, sie durch einen indirekten bakteriellen Fäkalstoffindikator zu ergänzen. Nach KÜHLWEIN (1952) und GRÄF (1975) handelt es sich bei den fruktifizierenden Myxobakterien um Boden- und Mistbewohner, die nicht der Darmflora von Warmblütern entstammen, mit koprophilen Eigenschaften, d.h. sie reichern sich in fäkalstoff-

haltigen Biotopen an. Nach GRÄF (1975) ergab sich eine eindeutige Korrelation zwischen der Fäkalbelastung eines Gewässers und dem Gehalt an Myxobakterien.

Die Indikatorfunktion der fruktifizierenden Myxobakterien beruht auf der Bakterienanreicherung im fäkalbelasteten Gewässer, dagegen ist die Indikatorfunktion von E.coli zeitlich eingeschränkt, da die Keime an der Außenwelt meist einem raschen Abbau im Flußverlauf unterliegen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, neben dem direkten an Hand eines indirekten bakteriellen Fäkalstoffindikators (Myxobakterien der Gattung Myxococcus), die Belastung mit Fäkalstoffen auf einem 27,3 km langen Gewässerabschnitt der Pegnitz / Regnitz zu untersuchen.

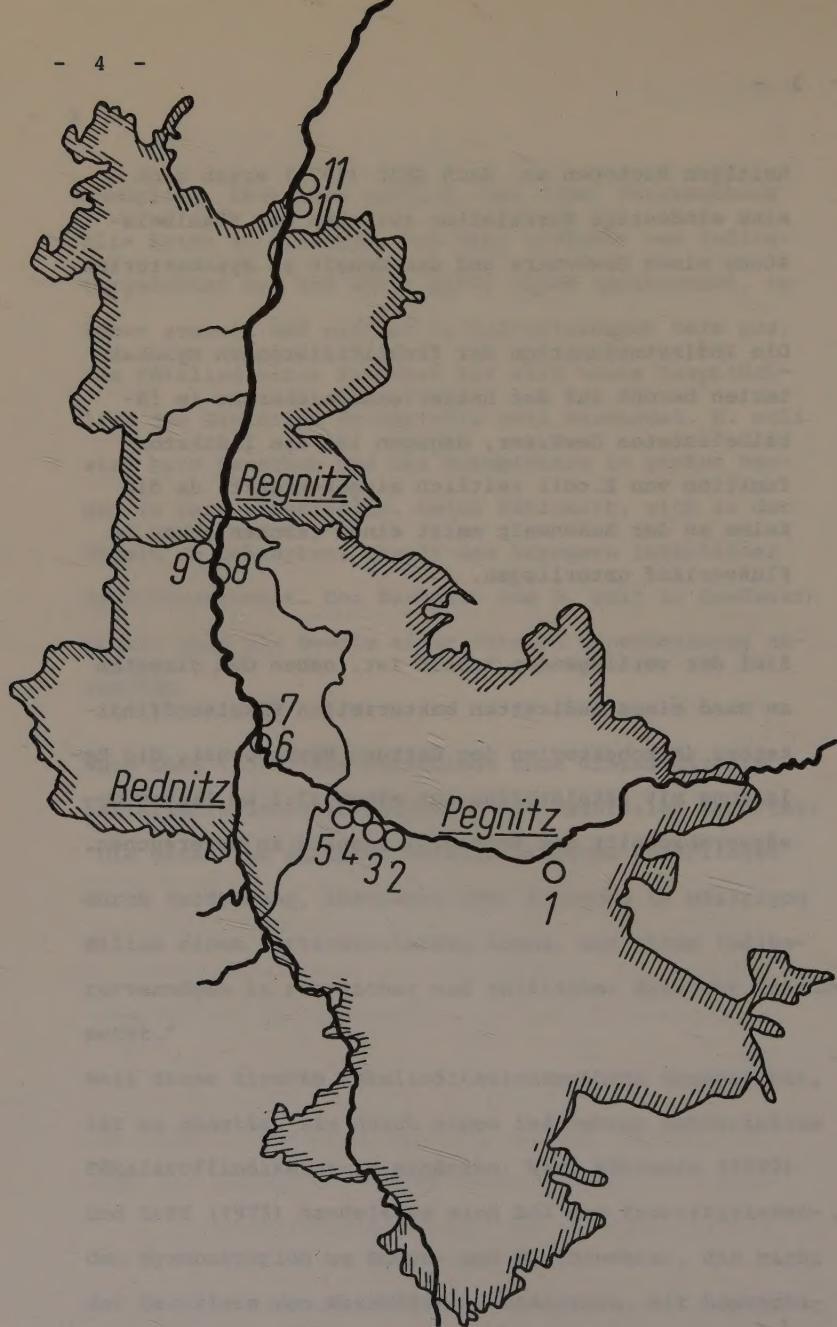


Abb. 1: Verlauf der untersuchten Flußstrecke

2. Zur Methode

2.1 Untersuchte Flußstrecke mit Probenahmestellen

Der untersuchte Gewässerabschnitt reicht vom Wöhrder See, ostwärts der Nürnberger Altstadt bis zum Auslauf der Kläranlage Erlangen in die Regnitz im Norden. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Länge von 27,3 km.

Die Pegnitz erreicht den Wöhrder See von Nord-osten her und verläßt ihn in westlicher Richtung. Der Lauf der Pegnitz ändert sich in der Weststadt nach Nordwesten. Hier befindet sich der Einlauf der alten Nürnberger Kläranlage (Entnahmestelle 3) und an der Stadtgrenze der Einlauf der "neuen" Nürnberger Kläranlage (Entnahmestelle 5). Im Norden von Fürth vereinigen sich Pegnitz und Rednitz zur Regnitz; an dieser Stelle erfolgt der Einlauf der Abwässer der Fürther Kläranlage.

Im weiteren Verlauf fließt die Regnitz an Stadeln und der Einlaufsstelle des Vacher Klärwerks vorbei in Richtung Norden durch vorwiegend ländliches Gebiet und trifft dann auf das Stadtgebiet von Erlangen, das sie in einem weiten Talraum durchquert. Am Auslauf der Erlanger Kläranlage am nördlichen Stadtrand endet der hier untersuchte Gewässerabschnitt von Pegnitz / Regnitz.

2.2 Beschreibung der Probenahmestellen

Mit Ausnahme des Wöhrder Sees wurde je eine Wasserproube aus dem Vorfluter (vor einer Kläranlage) und je eine Probe aus dem Auslauf der Kläranlagen entnommen. Diese Anordnung erscheint geeignet, das Ausmaß der Abwasserbelastung durch die einzelnen Kläranlagen zu erfassen, sowie den Zustand des Vorfluters vor einer weiteren Belastung mit Abwässern, die Selbstreinigungskraft des Gewässers, und auch witterungs- und jahreszeitlich bedingte Veränderungen im Gewässerverlauf zu beurteilen. Die Untersuchung erforderte daher über eine Flußstrecke von ungefähr 30 km insgesamt 11 Entnahmepunkte.

2.2.1 Die erste Probe wurde vom Noricussteg aus, am Südufer des Wöhrder Sees, entnommen.

2.2.2 Die zweite Entnahmestelle befindet sich 50 m unterhalb der Theodor-Heuss-Brücke bereits auf dem Gelände des Nürnberger Klärwerks II, am Südufer der Pegnitz ca. 100 m oberhalb des Auslaufs von Klärwerk II. Von der Entnahmestelle 1 am Wöhrder See aus bis zur Entnahmestelle 2 durchfließt die Pegnitz die Nürnberger Altstadt und legt eine Strecke von etwa 3,1 km zurück.

2.2.3 Die dritte Probe wurde aus dem Auslauf des Nachklärbeckens im Nürnberger Klär-

werk II entnommen.

2.2.4 Die vierte Entnahmestelle liegt rund 2,1 km flußabwärts von Entnahmestelle 3. Die Probe aus dem Vorfluter wurde jeweils von der Pegnitzbrücke der Fuchsstraße genommen. Diese Stelle befindet sich kurz vor dem Auslauf des Nürnberger Klärwerks I. Hier kann sowohl die Belastung des Vorfluters mit Abwasser von Klärwerk II geprüft als auch mit der nachfolgenden Probe von Klärwerk I verglichen und die Einzelbelastung durch die beiden Klärwerke gesondert registriert werden.

2.2.5 Die Probe 5 wurde nahe der Stadtgrenze am Auslauf des Nürnberger Hauptklärwerks gezogen, ca. 0,5 km flußabwärts von Entnahmestelle 4.

2.2.6 Die sechste Entnahmestelle befindet sich am Zusammenfluß von Pegnitz und Rednitz, ca. 3,6 km westlich vom Auslauf des Nürnberger Klärwerks I und ca. 0,7 km oberhalb des Auslaufs der Fürther Kläranlage. Die Wasserprobe wurde am Zusammenfluß von der Seite des Pegnitzarms entnommen.

2.2.7 Entnahmestelle 7 war der Auslauf der Fürther Kläranlage. Während der Unter-

suchungszeit wurde der biologische Teil der Fürther Kläranlage umgebaut, so daß während dieser Umstellungszeit die Möglichkeit bestand, jeweils Abwasserproben aus dem alten und neuen Auslauf der entsprechenden Nachklärbecken zu entnehmen. Somit konnten die Unterschiede in der Abwasseraufbereitung und der Abwasserbelastung des Flusses erfaßt werden.

2.2.8 Am Steg des Vacher Mühlenwehres, in einer Entfernung von 5,75 km unterhalb der Entnahmestelle 7, befindet sich die achte Entnahmestelle.

2.2.9 Aus dem Auslauf des Nachklärbeckens der Fürther Kläranlage Nord in Vach wurde 0,75 km entfernt von Punkt 8 die 9. Probe entnommen.

2.2.10 Nach einer Fließstrecke von ca. 10,1 km durch vorwiegend ländliches Gebiet, vorbei am Heizkraftwerk Franken II, wurde die 10. Probe in Erlangen, am Ufer der Regnitz, an den Werkern, entnommen. Dieser Punkt schien besonders im Hinblick auf die Folgen einer eventuellen Aufwärmung des Flusses durch das Großkraftwerk Franken II interessant.

2.2.11 Die 11. und letzte Entnahmestelle befindet

sich ca. 0,6 km weiter flußab, am Aus-
lauf der Erlanger Kläranlage in die Reg-
nitz.

Die Reihenfolge der Probenahmen erfolgte mit
dem Strom von Punkt 1 bis 11.

2.3 Probenahme

2.3.1 Je Probe wurden 500 ml Wasser entnommen
und in zuvor sterilisierte gläserne Schliff-
stopfenflaschen gefüllt. Das Sterilisieren
der Flaschen erfolgte bei 180° C im Heißluft-
schrank. Die Flaschen wurden zu 5/6 mit dem
entnommenen Wasser gefüllt, damit der Inhalt
vor Ansetzen der Kulturen gründlich durch-
mischt werden konnte. Sofern kein direkter
Zugang zum Wasser möglich war, wurden die
Proben mit einem Ruttner-Schöpfer vorgenom-
men, ansonsten direkt mit der Probeflasche,
und anschließend sofort im Labor aufgearbeitet.

2.3.2 Die Messung der Wassertemperatur erfolgte
mit dem Quecksilberthermometer, das in den
Schöpfer eingebaut ist (0,1° C Skalenein-
teilung).

2.3.3 Zeitablauf der Probenahmen

Die Untersuchung erfolgte über den Zeitraum

von Anfang Juli 1977 bis Ende Februar 1978 mit insgesamt 27 Probenahmen. Die Proben wurden wöchentlich immer montags mit der fließenden Welle gezogen und anschließend im Labor aufgearbeitet. Die Proben wurden in der oben beschriebenen Reihenfolge vom Wöhrder See bis zur Erlanger Kläranlage entnommen, so daß man eine konstante Entwicklung der Luft- und Wassertemperatur annehmen kann.

2.4 Auswertung der Proben

Der Analysengang folgt der hier beschriebenen Reihenfolge:

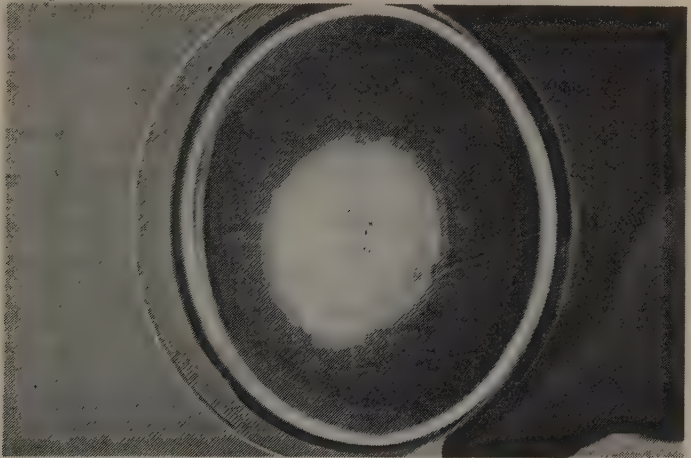
2.4.1 Untersuchung der Proben auf Myxobakterien

Zur quantitativen Bestimmung des Myxococcusgehaltes wurde die nach GRÄF (1975) beschriebene Technik angewendet.

Je Probenahme wurden 100 ml Wasser durch ein steriles Membranfilter (Sartoriusmembranfilter, mittlerer Porendurchmesser $0,15\mu$) mit der Wasserstrahlpumpe gesaugt. Danach wurde das Membranfilter auf die Oberfläche einer Kainchenkotagarplatte (Mio), entsprechend der bei GRÄF (1975) beschriebenen Zusammensetzung, aufgelegt.

Die mit den Membranfiltern belegten Mioplaten wurden 4 bis 5 Tage lang im Brutschrank bei 34 ° C bebrütet.

Bei der Auszählung der Myxococcuskolonien wurden typisch rote, gelbe bis weißlich gefärbte Fruchtkörperareale als Einzelkolonien gewertet.



2.4.2 Untersuchung der Proben auf Escherichia coli

Bei jeder Probenahme wurde als Vergleichswert zum Myxobakteriengehalt der Escherichia coli-Titer bestimmt. Unter dem Titer versteht man die kleinste aus einer abgestuften Verdünnungsreihe erhaltene Wassermenge, in der noch Escherichia coli nachgewiesen werden kann.

Zur Bestimmung des E.coli-Titers wurden abgestufte Mengen des zu untersuchenden Wassers

(1 ml, 0,1 ml, 0,01 ml) mit Nährlösung versetzt und 24 Stunden bei 37° C bebrütet. Das Anreicherungsmedium Brila (Brilliant-grün-Lactose-Galle-Pepton) dient zur Unterdrückung der unerwünschten Begleitflora und der Vermehrung der wenigen in der Verdünnung noch vorhandenen E.coli-Keime. Dies wird sichtbar durch Trübung des Mediums und Gasbildung (Durhamröhrchen).

Zur Differenzierung von E.coli wurden folgende Untersuchungen angeschlossen:

Gasbildung (in Durhamröhrchen) und Trübung der Proben in der Nährlösung nach 24 Stunden Bebrütung bei 37° C gilt als würdig, auf E.coli hin geprüft zu werden. Dazu wird mit einer ausgeglühten Platinöse von der Probe auf eine Endoplatte ein 3-Ösenausstrich aufgebracht.

Die Endoplatten wurden bei 37° C 24 Stunden lang bebrütet.

E.coli bildet auf Endoagar dunkelrote Kolonien mit grünschimmernden beständigem Metallglanz und eine Rotfärbung des umgebenden Agars.

Verdächtig aussehende E.coli-Kolonien wurden über eine "bunte Reihe" auf typische biochemische

Stoffwechselleistungen geprüft.

Substrat	Charakteristische Reaktion bei E.coli
Laktosebouillon:	Gas- u. Säurebildung Farbumschlag von grün
Dextrosebouillon:	" " " " nach gelb
Citrat:	negativ, kein Wachstum
Indol:	E.coli kann Indol aus Tryptophan abspalten - Rotfärbung des Covacz-Reagenz
Harnstoff:	negativ, d.h. keine Verfärbung des gelben Indikators im Agar
Kligler:	keine H ₂ S-Bildung, Kuppe gelb bis rot, Gasbildung im Stich
Mannit:	Säure- u. Gasbildung bei 44° C! Farbumschlag von grün nach gelb

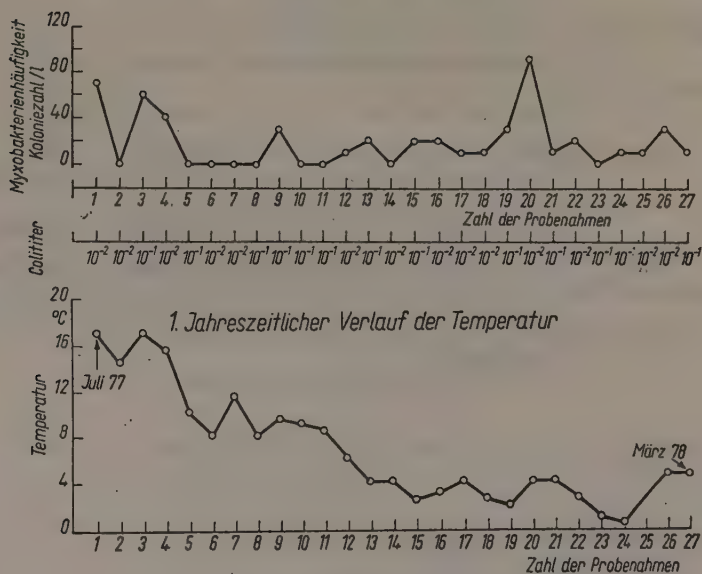
Die bunte Reihe wurde bei 37° C mit Ausnahme von Mannit bei 44° C, 24 Stunden lang bebrütet. Typische Reaktion, wie oben in der Tabelle beschrieben, ergab positiven E.coli-Nachweis.

3. Ergebnisse

Mit Hilfe der oben beschriebenen Nachweistechniken wurde mittels Proben der quantitative Myxobakteriengehalt im Vergleich zum Colititer bestimmt. Nachfolgend sollen die Ergebnisse der elf Entnahmestellen im einzelnen dargestellt werden.

3.1 Entnahmestelle 1: Wöhrder See

1. Entnahmestelle Wöhrder See



In der Abbildung 3 wird der Verlauf der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien pro l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und der jeweils entsprechende E.coli-Titer an der Entnahmestelle 1 dargestellt. Der darunter folgenden Abbildung ist der ebenfalls aus 27 Untersuchungsreihen bestehende Verlauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 1

Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	17	10^{-2}	70	bewölkt, am Vortag Regen
2	14,5	10^{-2}	KN	bewölkt
3	17	10^{-1}	60	sonnig
4	15,5	10^{-2}	40	sonnig
5	10	10^{-1}	KN	neblig
6	8	10^{-2}	KN	sonnig
7	11,5	10^{-2}	KN	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	8	10^{-1}	KN	Hochnebel
9	9,5	10^{-1}	30	neblig
10	9	10^{-1}	KN	vereinzelt Regen
11	8,5	10^{-1}	KN	sonnig, klar
12	6	10^{-2}	10	bedeckt, Schneereg.
13	4	10^{-1}	20	bewölkt
14	4	10^{-2}	KN	bewölkt
15	2,5	10^{-1}	20	bewölkt
16	3	10^{-2}	20	bewölkt
17	4	10^{-2}	10	bewölkt, um 0°C
18	2,5	10^{-2}	10	Hochnebel
19	2	10^{-1}	30	Hochnebel
20	4	10^{-2}	90	bedeckt
21	4	10^{-1}	10	Schneeregen
22	2,5	10^{-2}	20	bedeckt
23	1	10^{-1}	KN	bedeckt
24	0,5	10^{-1}	10	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	10	bedeckt
26	4,5	10^{-2}	30	bedeckt, stark. Reg.
27	4,5	10^{-1}	20	bedeckt, stark. Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl der fruktifizierenden Myxobakterien pro l und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 1. (KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

Der Colinachweis konnte an Entnahmestelle 1 in allen 27 Untersuchungsreihen erbracht werden:

- in 14 Fällen im Titerbereich von 10^{-2} mit einer Häufigkeit von 51,8 % und
- in 13 Fällen im Titerbereich von 10^{-1} mit einer Häufigkeit von 48,2 %.

Tabelle 2

Colititer mit der Häufigkeitsverteilung des Colititers an Entnahmestelle 1

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
10^{-1}	13	48,2
10^{-2}	14	51,8

Der Nachweis fruktifizierender Myxobakterien konnte, im Gegensatz zum Colititer, in 9 von 27 Untersuchungsreihen nicht erbracht werden. Eine Abhängigkeit zwischen fehlendem Myxobakteriennachweis und Nachweis von E.coli in niedrigen Verdünnungen (also niedrige Keimbelastung) konnte hier nicht hergestellt werden. Die Zahl der fruktifizierenden Myxobakterien bewegt sich zwischen minimal 0 bis maximal 90 Kolonien/l, was in Zusammenhang mit dem 9mal nicht erfolgten Nachweis fruktifizierender Myxobakterien auf eine sehr niedrige Keimbelastung in diesem untersuchten Flußabschnitt der Pegnitz hinweist.

Auch der 13mal erfolgte Nachweis des Colititerbereiches von 10^{-1} in dieser relativ niedrigen Verdünnung befindet

sich im Einklang mit der verhältnismäßig niedrigen Anzahl fruktifizierender Myxobakterien im Wöhrder See und spricht nicht für eine Fäkalbelastung bedenklichen Ausmaßes.

Ein relativ geringer Verschmutzungsgrad des Wöhrder Sees ist auch zu erwarten, da keine unmittelbare fäkale Belastung durch Kläranlagen in diesem Flußabschnitt erfolgt. Da es sich beim Wöhrder See um ein nahezu stagnierendes Gewässer mit der Funktion eines Absetzbeckens handelt, sind die Proben im unteren Bereich dieses Gewässers relativ sauber. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit dem Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Regnitz, der dem Wöhrder See den Gütezustand II/III zumißt.

3.2 Entnahmestelle 2:

Pegnitz, westlich der Th.-Heuss-Brücke im Bereich des Klärwerks II, Nürnberg

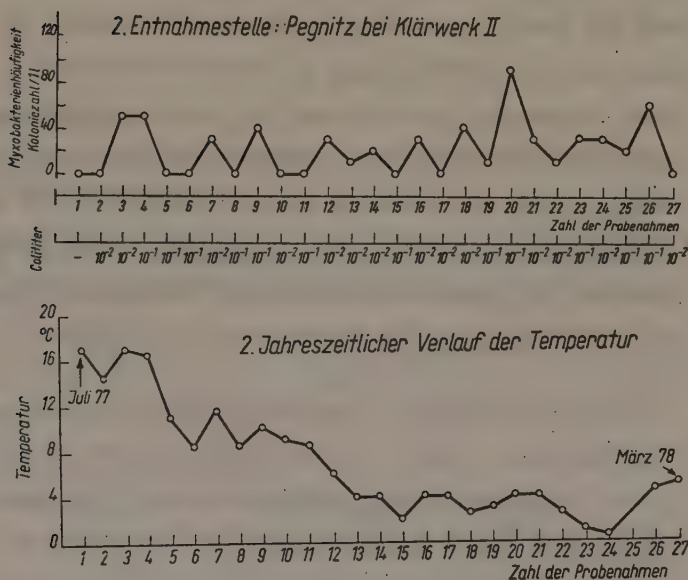


Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Anzahl fruk-
tifizierender Mykobakterien pro l in insgesamt
27 Untersuchungsreihen und den jeweils entspre-
chenden Colititer an Entnahmestelle 2. Der da-
runter folgenden Abbildung ist der ebenfalls aus
27 Untersuchungsreihen bestehende Verlauf der Tem-
peratur zu entnehmen.

Tabelle 3

Probe	Wassertemperatur in °C	Coli-titer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	17	KN	KN	bewölkt, am Vortag Regen
2	14,5	10^{-2}	KN	bewölkt
3	17	10^{-2}	50	sonnig
4	16,5	10^{-1}	50	sonnig
5	11	10^{-1}	KN	neblig
6	8,5	10^{-1}	KN	sonnig
7	11,5	10^{-2}	30	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	8,5	10^{-1}	KN	Hochnebel
9	10	10^{-1}	40	neblig
10	9	10^{-2}	KN	vereinzelt Regen
11	8,5	10^{-1}	KN	sonnig, klar
12	6	10^{-2}	30	bedeckt, Schneereg.
13	4	10^{-2}	10	bewölkt
14	4	10^{-2}	20	bewölkt
15	2	10^{-1}	KN	bewölkt
16	4	10^{-2}	30	bewölkt
17	4	10^{-2}	KN	bewölkt, um 0°C
18	2,5	10^{-2}	40	Hochnebel
19	3	10^{-1}	10	Hochnebel
20	4	10^{-1}	90	bedeckt
21	4	10^{-2}	30	Schneeregen
22	2,5	10^{-2}	10	bedeckt
23	1	10^{-1}	30	bedeckt
24	0,5	10^0	30	klarer Himmel
25	-	10^{-1}	20	bedeckt
26	4,5	10^{-1}	60	bedeckt, stark. Reg.
27	5	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl der fruktifizierenden Myxobakterien pro l und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 2. (KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

Gegenüber Entnahmestelle 1 zeigt sich hier beim Nachweis von E.coli eine leichte Verschiebung zu höheren Titerwerten, d.h. E.coli wurde auch bei stärkerer Verdünnung des Flußwassers noch gefunden.

Tabelle 4

Colititer mit der Colititer-Häufigkeitsverteilung an der Entnahmestelle 2

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
KN	1	3,7
10°	1	3,7
10 ⁻¹	12	44,4
10 ⁻²	13	48,2

Die Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien bewegt sich, wie bei Entnahmestelle 1 zwischen 0 und 90 Kolonien/l. In 10 Fällen konnten keine Myxobakterien nachgewiesen werden, wobei 4mal der Colititerbereich 10⁻² nachgewiesen werden konnte, 5mal der Titerbereich 10⁻¹ und einmal kein Coli-nachweis erfolgte.

Die Schwankungen der Myxobakterienkolonienzahl lassen keine Verbindung zur jahreszeitlichen Temperaturkurve zu.

3.3 Entnahmestelle 3:

Auslauf des Klärwerks II, Nürnberg

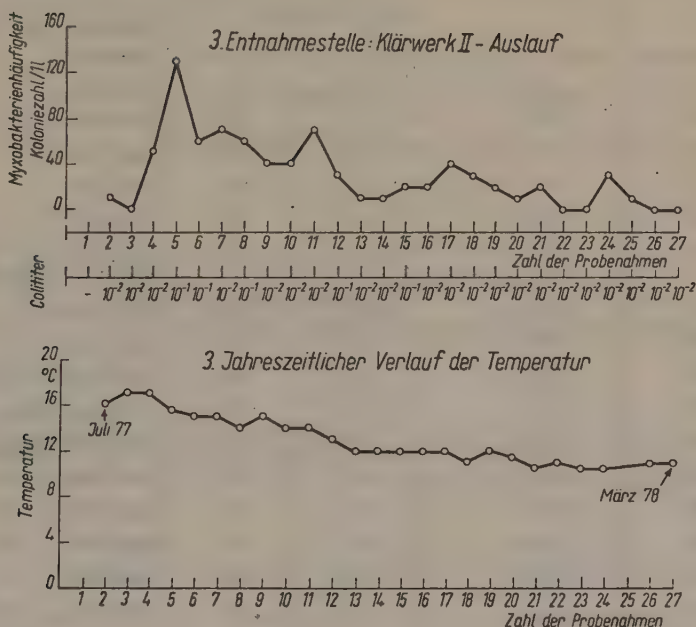


Abbildung 5 zeigt den Verlauf der Anzahl fruk-
tifizierender Myxobakterien pro l in insgesamt
27 Untersuchungsreihen und den jeweils entspre-
chenden Colititer an Entnahmestelle 3.

Der darunter folgenden Abbildung ist der eben-
falls aus 27 Untersuchungsreihen bestehende Ver-
lauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 5

Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	-	-	-	bewölkt, am Vortag Regen
2	16	10^{-2}	10	bewölkt
3	17	10^{-2}	KN	sonnig
4	17	10^{-2}	50	sonnig
5	15,5	10^{-1}	130	neblig
6	15	10^{-1}	60	sonnig
7	15	10^{-2}	70	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	14	10^{-1}	60	Hochnebel
9	15	10^{-2}	40	neblig
10	14	10^{-2}	40	vereinzelt Regen
11	14	10^{-2}	70	sonnig, klar
12	13	10^{-1}	30	bedeckt, Schneeregen
13	12	10^{-2}	10	bewölkt
14	12	10^{-2}	10	bewölkt
15	12	10^{-1}	20	bewölkt
16	12	10^{-2}	20	bewölkt
17	12	10^{-2}	40	bewölkt, um 0°C
18	11	10^{-2}	30	Hochnebel
19	12	10^{-2}	20	Hochnebel
20	11,5	10^{-2}	10	bedeckt
21	10,5	10^{-2}	20	Schneeregen
22	11	10^{-2}	KN	bedeckt
23	10,5	10^{-2}	KN	bedeckt
24	10,5	10^{-2}	30	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	10	bedeckt
26	11	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Regen
27	11	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Regen

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl der fruktifizierenden Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 3.
(KN $\hat{=}$ kein Nachweis)

An der Entnahmestelle 3, dem Kläranlagenauslauf, erfolgte die erste stärkere Fäkalbelastung im untersuchten Gewässerabschnitt, wodurch ein sprunghaftes Ansteigen der Myxobakterienanzahl und des Colititers zu erwarten war.

Beim Colinachweis ist eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Verdünnungen zu beobachten, was aufgrund der geklärten Abwässer nicht verwunderlich ist.

Tabelle 6

Colititer mit Colititerhäufigkeitsverteilung an der Entnahmestelle 3

Titer	absolute Häufigkeit	% uale Häufigkeit
KN	1	3,7
10^{-1}	5	18,5
10^{-2}	21	77,8

In diesen Werten zeigt sich eine starke Verschiebung zum niedrigsten untersuchten Titerbereich. Eine derartige Kumulation konnte bei den vorausgehenden Entnahmestellen 1 und 2 noch nicht beobachtet werden und weist auf den erhöhten Verschmutzungsgrad des Kläranlagenauslaufs hin.

Ein ähnliches Ergebnis läßt sich bei der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien in Tabelle 5 ablesen. Die Zahl der Probenahmen, bei denen kein Myxobakteriennachweis erfolgen konnte, ist auf 5 Fälle abgesunken. E.coli konnte

bei den entsprechenden Probenahmen jedoch immer im Titerbereich von 10^{-2} nachgewiesen werden.

Die Schwankungsbreite der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien liegt zwischen 0 und 130 Kolonien/l. Der Maximalwert der Untersuchungsreihe an Entnahmestelle 3 beträgt 130 Kolonien/l. In diesen Werten zeigt sich deutlich die Anreicherung der koprophilen Myxobakterien im Kläranlagenauslauf.

Der sehr ausgeglichene Verlauf der Temperaturkurve (Abb. 5) ist auf die hohe bakterielle Aktivität im Klärwerk zurückzuführen.

3.4 Entnahmestelle 4:

Pegnitz vor Klärwerk I
in Nürnberg-Muggenhof an der Stadtgrenze zu Fürth

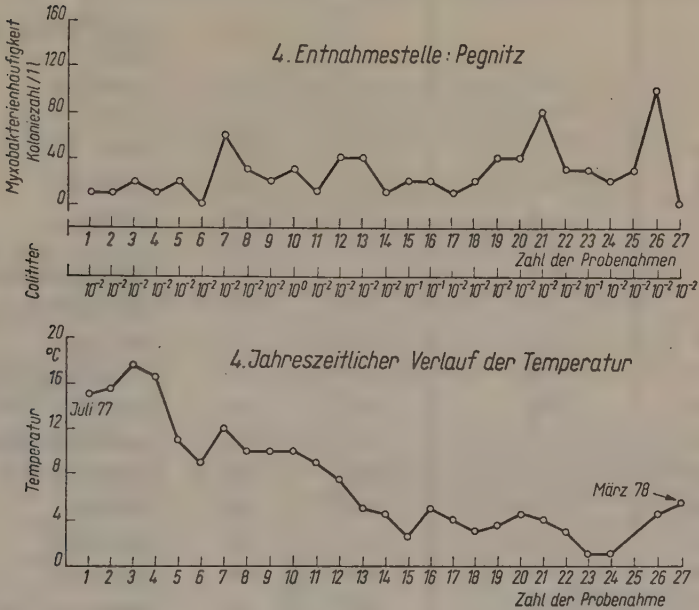


Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Anzahl fruk-
tifizierender Myxobakterien/l in insgesamt 27
Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden
Colititer an Entnahmestelle 4.

Der darunter folgenden Abbildung ist der ebenfalls
aus 27 Untersuchungsreihen bestehende Verlauf der
Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 7

Probe	Wassertemperatur in °C	Coli-titer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	15	10^{-2}	10	bewölkt, am Vortag Regen
2	15,5	10^{-2}	10	bewölkt
3	17,5	10^{-2}	20	sonnig
4	16,5	10^{-2}	10	sonnig
5	11	10^{-2}	20	neblig
6	9	10^{-2}	KN	sonnig
7	12	10^{-2}	60	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	10	10^{-2}	30	Hochnebel
9	10	10^{-2}	20	neblig
10	10	10^0	30	vereinzelt Regen
11	9	10^{-2}	10	sonnig, klar
12	7,5	10^{-2}	40	bedeckt, Schneeregen
13	5	10^{-2}	40	bewölkt
14	4,5	10^{-2}	10	bewölkt
15	2,5	10^{-1}	20	bewölkt
16	5	10^{-1}	20	bewölkt
17	4	10^{-2}	10	bewölkt, um 0°C
18	3	10^{-2}	20	Hochnebel
19	3,5	10^{-2}	40	Hochnebel
20	4,5	10^{-2}	40	bedeckt
21	4	10^{-2}	80	Schneeregen
22	3	10^{-2}	30	bedeckt
23	1	10^{-1}	30	bedeckt
24	1	10^{-2}	20	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	30	bedeckt
26	4,5	10^{-2}	100	bedeckt, stark. Reg.
27	5,5	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 4.
(KN $\hat{=}$ kein Nachweis)

An der Entnahmestelle 4 zeigen sich in den für die Gewässerparameter festgestellten Werten deutlich die Auswirkungen der Fäkalbelastung durch die Abwässer des flußaufwärts gelegenen Nürnberger Klärwerks II.

Hier zeigt sich beim Colinachweis im Vergleich zur Flußentnahmestelle 2 eine Verschiebung zu niedrigeren Titern, was auf die eingetretene fäkale Belastung des Gewässers hinweist.

Tabelle 8

Colititer mit Colititerhäufigkeitsverteilung an der Entnahmestelle 4

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
10^0	1	3,7
10^{-1}	3	11,1
10^{-2}	23	85,2

Die Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien steigt im Vergleich zur Entnahmestelle 2 an. In 27 Untersuchungsreihen gelang in nur 2 Fällen der Myxobakteriennachweis nicht, was die vermehrte Anreicherung durch die Fäkalbelastung im Fließgewässer unterstreicht. Die Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien bewegt sich zwischen minimal 0 und maximal 100 Kolonien/l. Dieses Ergebnis (auch beim Vergleich der gemittelten Myxobakterienanzahl) liegt über dem Ergebnis von Entnahmestelle 2 und zeigt somit auch den Abfall der Gewässerqualität an.

Der Zustand des Gewässers wird im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Regnitz der Güteklasse III zugeordnet und gilt damit als stark verschmutzt.

Im Verlauf der Temperaturkurve zeigen sich Übereinstimmungen zwischen Temperaturmaxima und Maxima der Myxobakterienanzahl. Zusätzlich fällt auf, daß dabei der Coli-nachweis immer im Titerbereich von 10^{-2} erfolgt.

3.5 Entnahmestelle 5:

Auslauf des Klärwerks I in Nürnberg
an der Stadtgrenze nach Fürth

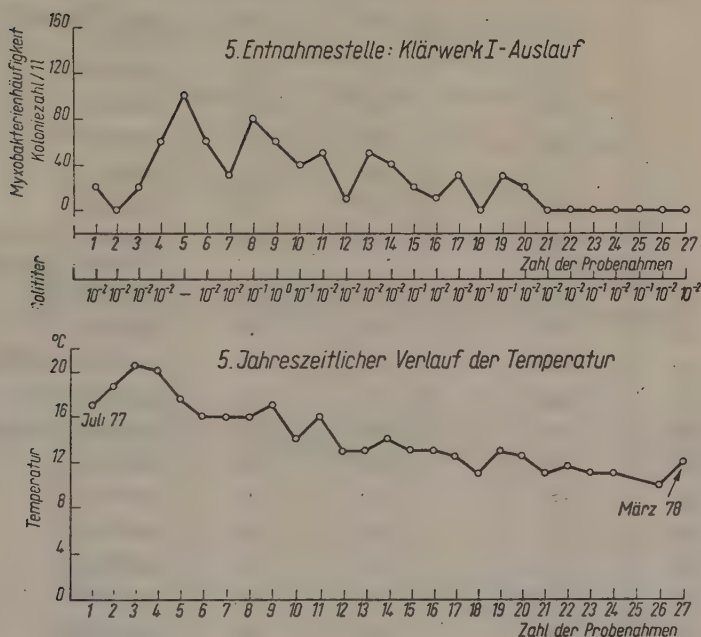


Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien/l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden Coli-titer an Entnahmestelle 5. Der darunter folgenden Abbildung ist der ebenfalls aus 27 Untersuchungsreihen bestehende Verlauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 9

Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	17	10^{-2}	20	bewölkt, am Vortag Regen
2	18,5	10^{-2}	KN	bewölkt
3	20,5	10^{-2}	20	sonnig
4	20	10^{-2}	60	sonnig
5	17,5	KN	100	neblig
6	16	10^{-2}	60	sonnig
7	16	10^{-2}	30	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	16	10^{-1}	80	Hochnebel
9	17	10^0	60	neblig
10	14	10^{-1}	40	vereinzelt Regen
11	16	10^{-2}	50	sonnig, klar
12	13	10^{-2}	10	bedeckt, Schneereg.
13	13	10^{-2}	50	bewölkt
14	14	10^{-2}	40	bewölkt
15	13	10^{-1}	20	bewölkt
16	13	10^{-2}	10	bewölkt
17	12,5	10^{-2}	30	bewölkt, um 0°C
18	11	10^{-1}	KN	Hochnebel
19	13	10^{-1}	30	Hochnebel
20	12,5	10^{-2}	20	bedeckt
21	11	10^{-2}	KN	Schneereg
22	11,5	10^{-2}	KN	bedeckt
23	11	10^{-1}	KN	bedeckt
24	11	10^{-2}	KN	klarer Himmel
25	-	10^{-1}	KN	bedeckt
26	10	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Reg.
27	12	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 5.

(KN = kein Nachweis).

Der Auslauf des Hauptklärwerkes in Nürnberg folgt in 2,6 km Entfernung auf Klärwerk II. Deshalb ist es von besonderem Interesse, inwieweit die Belastung der Pegnitz zusätzlich durch die Einleitung weiterer Abwässer erhöht wird.

Beim Colinachweis zeigt sich eine Tendenz zu Titerbereichen geringerer Verdünnung im Vergleich zu Klärwerk II.

Tabelle 10

Colititer mit der Colititerverteilung an der Entnahmestelle 5

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
KN	1	3,7
10°	1	3,7
10 ⁻¹	7	25,9
10 ⁻²	18	66,7

In einem Fall der 27 Untersuchungsreihen erfolgte kein Nachweis von E.coli im Kläranlagenauslauf. Dies ist unter Umständen auf die Analysenmethode zurückzuführen, z.B. Keimwachstum trotz fehlender Gasbildung oder Trübung.

Die Anzahl fruktifizierender Myxobakterien bewegt sich zwischen minimal 0 und maximal 100 Kolonien/l und erreicht im Durchschnittswert nicht die Höhe von Entnahmestelle 3. In 27 Untersuchungsreihen unterblieb 9mal der

Myxobakteriennachweis, ein für einen Kläranlagenauslauf ungewöhnliches Ergebnis. Der absolute Maximalwert fruktifizierender Myxobakterien wurde in der 5. Untersuchungsreihe mit 100 Kolonien/l festgestellt. In der Temperaturkurve ist ein Maximum in der 3. Untersuchungsreihe zu beobachten, das in der 4. und 5. Untersuchungsreihe nur leicht abfällt. In der Abbildung 7 zeigt die Temperaturkurve des Kläranlagenauslaufs einen insgesamt ruhigen Verlauf mit einigen Spitzenwerten, die sich auch in der Myxobakterienanzahl wiederholen.

3.6 Entnahmestelle 6:

Zusammenfluß von Pegnitz / Rednitz
im Stadtbereich Fürth

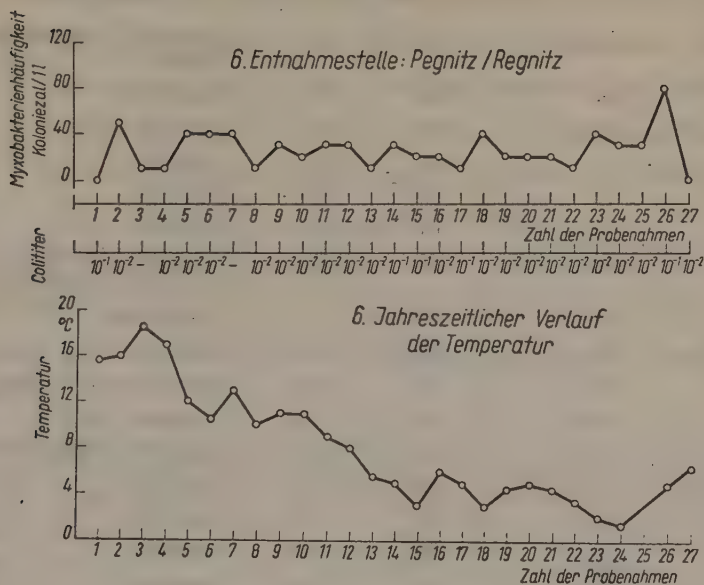


Abbildung 8 zeigt den Verlauf der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien / l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden Colititer an Entnahmestelle 6. Der darunter folgenden Abbildung ist der Temperaturverlauf zu entnehmen.

Tabelle 11

Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	15,5	10^{-1}	KN	bewölkt, am Vortag Regen
2	16	10^{-2}	50	bewölkt
3	18,5	KN	10	sonnig
4	17	10^{-2}	10	sonnig
5	12	10^{-2}	40	neblig
6	10,5	10^{-2}	40	sonnig
7	13	KN	40	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	10	10^{-2}	10	Hochnebel
9	11	10^{-2}	30	neblig
10	11	10^{-2}	20	vereinzelt Regen
11	9	10^{-2}	30	sonnig, klar
12	8	10^{-2}	30	bedeckt, Schneeregen
13	5,5	10^{-2}	10	bewölkt
14	5	10^{-1}	30	bewölkt
15	3	10^{-1}	20	bewölkt
16	6	10^{-2}	20	bewölkt
17	5	10^{-1}	10	bewölkt, um 0° C
18	3	10^{-2}	40	Hochnebel
19	4,5	10^{-2}	20	Hochnebel
20	5	10^{-2}	20	bedeckt
21	4,5	10^{-2}	20	Schneeregen
22	3,5	10^{-2}	10	bedeckt
23	2	10^{-2}	40	bedeckt
24	1,5	10^{-2}	30	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	30	bedeckt
26	5	10^{-1}	80	bedeckt, stark. Regen
27	6,5	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Regen

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 6.
(KN $\hat{=}$ kein Nachweis)

Nach einer weiteren Fließstrecke von 3,6 km werden an Entnahmestelle 6 die Auswirkungen der Fäkalbelastung durch die beiden Klärwerke Nürnbergs untersucht. An dieser Stelle findet eine Vermischung des Pegnitzwassers mit der Rednitz statt, wobei keine homogene Durchmischung eintritt, sondern eine Fahnenbildung, die über den Zufluß der Kläranlage Fürth hinausreicht, ein Faktor, der in dieser Untersuchung nicht gesondert berücksichtigt wurde.

Tabelle 12

Colititer mit der Colititerhäufigkeitsverteilung an Entnahmestelle 6

Titer	absolute Häufigkeit	% uale Häufigkeit
KN	2	7,4
10^{-1}	5	18,5
10^{-2}	20	74,1

Die Abwasserbelastung des Gewässers durch Klärwerk II und Klärwerk I zeigt sich auch noch nach der relativ langen Fließstrecke von 3,6 km.

Der Colinachweis im Titerbereich von 10^{-2} erfolgte bei Entnahmestelle 6 20 mal. Dieses Ergebnis liegt etwas niedriger verglichen mit Entnahmestelle 4. Die Anzahl fruktifizierender Myxobakterien liegt zwischen minimal 0 und maximal 80 Kolonien/l. In nur 2 Untersuchungsreihen konnte der Myxobakteriennachweis nicht erbracht werden, ein Zeichen für die trotz langer Selbst-

reinigungsstrecke starke chronische Fäkalbelastung und die daraus folgende Anreicherung der koprophilen Myxobakterien.

Obwohl sich die Gewässerparameter im Vergleich zu Entnahmestelle 4 hinsichtlich der starken Fäkalbelastung geringfügig erholt haben, bleibt doch eine relativ hohe Abwasserbelastung dieses untersuchten Gewässerabschnitts. Hier ist die Gewässerqualität bereits in einen seuchenhygienisch sehr bedenklichen Bereich gekommen, wie auch die Zuordnung zu Güteklasse IV im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan zeigt.

Die Schwankungen der Myxobakterienkoloniezahl im Vorfluter lassen keine Abhängigkeit vom Verlauf der Temperatur erkennen. Die Temperaturkurve fällt im jahreszeitlichen Verlauf zum Winter hin ab, Gemeinsamkeiten mit Maxima oder Minima der Myxobakterienkurve lassen sich nicht herstellen.

3.7 Entnahmestelle 7:

Klärwerk Fürth, Auslauf

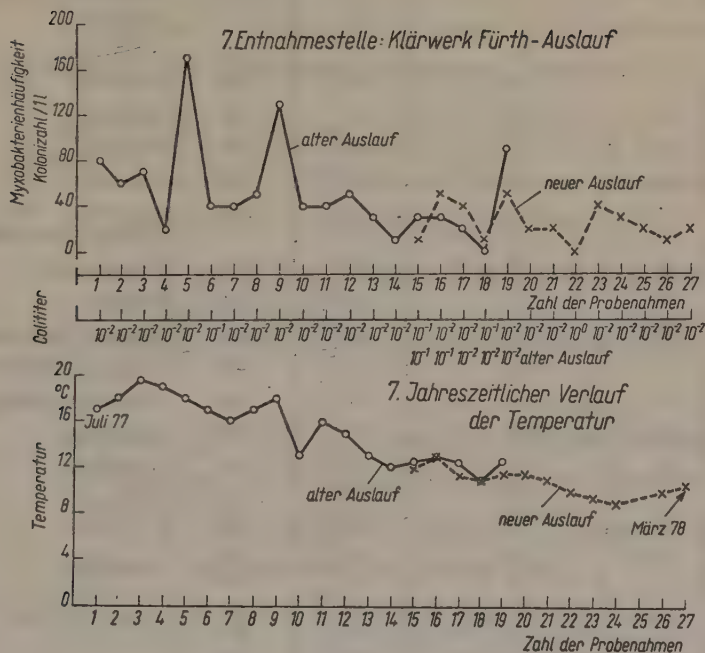


Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien/l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden Colititer an Entnahmestelle 7. Der darunter folgenden Abbildung ist der jahreszeitliche Verlauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 13

Besonderheiten	Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
	1	17	10^{-2}	80	bewölkt, am Vortag Regen
	2	18	10^{-2}	60	bewölkt
	3	19,5	10^{-2}	70	sonnig
	4	19	10^{-2}	20	sonnig
	5	18	10^{-2}	170	neblig
	6	17	10^{-1}	40	sonnig
	7	16	10^{-2}	40	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
	8	17	10^{-2}	50	Hochnebel
	9	18	10^{-2}	130	neblig
	10	13	10^{-2}	40	vereinzelt Regen
	11	16	10^{-2}	40	sonnig, klar
	12	15	10^{-2}	50	bedeckt, Schneereg.
	13	13	10^{-2}	30	bewölkt
	14	12	10^{-2}	10	bewölkt
Auslauf neu	15	12	10^{-1}	10	bewölkt
Auslauf alt		12,5	10^{-1}	30	
Auslauf neu	16	13	10^{-2}	50	bewölkt
Auslauf alt		13	10^{-1}	30	
Auslauf neu	17	11,5	10^{-2}	40	bewölkt, um 0°C
Auslauf alt		12,5	10^{-2}	20	
Auslauf neu	18	11	10^{-1}	10	Hochnebel
Auslauf alt		11	10^{-2}	KN	
Auslauf neu	19	11,5	10^{-2}	50	Hochnebel
Auslauf alt		12,5	10^{-2}	90	
	20	11,5	10^{-2}	20	bedeckt
	21	11	10^{-2}	20	Schneeregen
	22	10	10^0	KN	bedeckt
	23	9,5	10^{-2}	40	bedeckt
	24	9	10^{-2}	30	klarer Himmel
	25	-	10^{-2}	20	bedeckt
	26	10	10^{-2}	10	bedeckt, stark. Reg.
	27	10,5	10^{-2}	20	bedeckt, stark. Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 7. (KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

Die Einleitung der Abwässer der Kläranlage Fürth erfolgt in einen Gewässerabschnitt mit bereits erheblicher Vorbelastung. Dieser Untersuchungspunkt ist in Hinblick auf eine weitere kritische Verschlechterung der Gewässergüte besonders interessant.

Während des Untersuchungszeitraumes wurden an der Kläranlage Fürth folgende Veränderungen vorgenommen:

- die mechanische Klärstufe blieb erhalten
- Belüftungsbecken (aerober Abbau) und Nachklärbecken wurden erneuert.

Der Übergang ist in Abbildung 9 graphisch dargestellt.

Bezüglich der Untersuchungsergebnisse des Myxobakteriengehaltes fällt vor allem die starke Schwankungsbreite im Untersuchungszeitraum der Messung am alten Auslauf (also vor der Umstellung auf):

1. Die 5. und 9. Untersuchungsreihe ergibt Maximalwerte von 170 Kolonien/l bzw. 130 Kolonien/l.
2. Das Gesamtniveau des Myxobakteriengehaltes ist gegenüber den Ergebnissen von Klärwerk II und I in Nürnberg erhöht.
3. Im Untersuchungszeitraum vor der Umstellung der Kläranlage Fürth wurden in allen 14 Untersuchungsreihen am alten Auslauf fruktifizierende Myxobakterien regelmäßig nachgewiesen.

Die Umstellung der Kläranlage Fürth erfolgte zur Zeit der 15. Untersuchungsreihe. In den Ergebnissen aus den Wasserproben des neuen Auslaufs sind die hohen Werte der Myxobakterienanzahl deutlich vermindert. Nach anfänglichen Einstellungsschwankungen zeigt die Kurve bezüglich des Myxobakteriengehaltes ein relativ konstantes Bild (Untersuchungsreihen 23 bis 27).

Einmal konnten aus den Wasserproben des neuen Auslaufs keine Myxobakterien isoliert werden.

In der Verteilung der Escherichia-coli-Titerbereiche vor der Umstellung am alten Auslauf konnte in 14 Untersuchungsreihen 13 mal der Titerbereich von 10^{-2} nachgewiesen werden.

In der Verteilung der Escherichia-coli-Titerbereiche in 13 Untersuchungsreihen am neuen Auslauf des Klärwerks ergab sich in 10 Fällen ein Nachweis im Titerbereich von 10^{-2} , in 2 Fällen im Titerbereich von 10^{-1} und einmal im Titerbereich von 10^0 . Verglichen mit dem Colinachweis vor der Umstellung am alten Kläranlagenauslauf sprechen diese Ergebnisse für eine Verbesserung der Abbauleistung des Klärwerks.

Interessant ist die Übereinstimmung des Myxobakterienmaximums von der 8. und 9. Untersuchungsreihe mit einem

gleichzeitigen Anstieg der Temperaturkurve der 8. und 9. Untersuchungsreihe. Danach erfolgt ein Myxobakterienabfall von 130 Kolonien/l auf 40 Kolonien/l bei einem gleichzeitigen Temperaturabfall um 5°C. Die Temperaturkurve zeigt nach der Umstellung des Klärwerks einen ruhigeren Verlauf (Untersuchungsreihe 17 bis 27).

Insgesamt läßt diese Beruhigung des Temperaturverlaufs nach anfänglichen Umstellungsschwankungen auf eine verbesserte Klärleistung der Anlage in Belastungssituationen schließen.

3.8 Entnahmestelle 8:

Steg des Vacher Mühlenwehres Regnitz

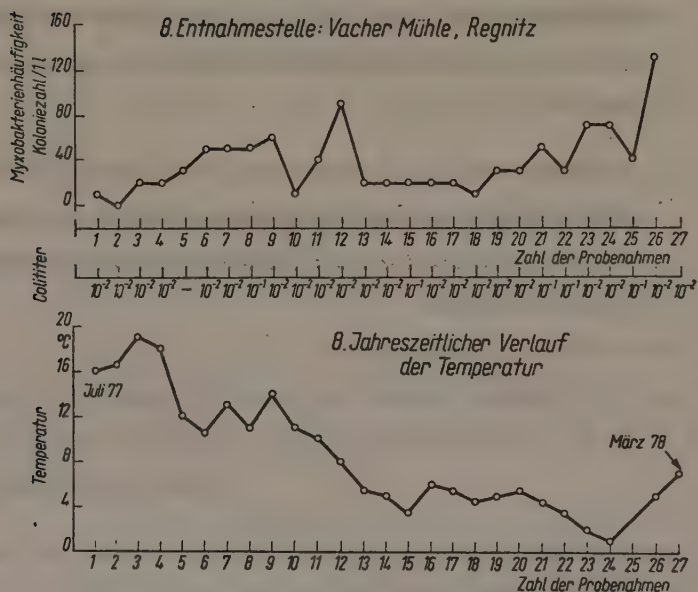


Abbildung 10 zeigt den Verlauf der Anzahl fruk-
tifizierender Mykobakterien/l in insgesamt 27 Un-
tersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden
Colititer an Entnahmestelle 8. Der darunter fol-
genden Abbildung ist der jahreszeitliche Verlauf
der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 14

Probe	Wassertemperatur in °C	Coli-titer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	16	10^{-2}	10	bewölkt, am Vortag Regen
2	16,5	10^{-2}	KN	bewölkt
3	19	10^{-2}	20	sonnig
4	18	10^{-2}	20	sonnig
5	12	KN	30	neblig
6	10,5	10^{-2}	50	sonnig
7	13	10^{-2}	50	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	11	10^{-1}	50	Hochnebel
9	14	10^{-2}	60	neblig
10	11	10^{-2}	10	vereinzelt Regen
11	10	10^{-2}	40	sonnig, klar
12	8	10^{-2}	90	bedeckt, Schneereg.
13	5,5	10^{-2}	20	bewölkt
14	5	10^{-2}	20	bewölkt
15	3,5	10^{-1}	20	bewölkt
16	6	10^{-2}	20	bewölkt
17	5,5	10^{-2}	20	bewölkt, um 0°C
18	4,5	10^{-2}	10	Hochnebel
19	5	10^{-2}	30	Hochnebel
20	5,5	10^{-2}	30	bedeckt
21	4,5	10^{-1}	50	Schneereg
22	3,5	10^{-1}	30	bedeckt
23	2	10^{-2}	70	bedeckt
24	1	10^{-2}	70	klarer Himmel
25	-	10^{-1}	40	bedeckt
26	5	10^{-2}	130	bedeckt, stark.Reg.
27	7	10^{-2}	KN	bedeckt, stark.Reg.

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 8.

(KN $\hat{=}$ kein Nachweis)

Nach einer langen Fließstrecke von 5,5 km wird an der Entnahmestelle 8 die Flußbelastung durch die von den flußaufwärts gelegenen Kläranlagen eingeleitete Fäkalfracht deutlich.

Im Vergleich zu Entnahmestelle 6 ist in der Regnitz bei Vach ein vermehrter Nachweis in niedrigen Colititerbereichen zu erkennen.

Tabelle 15

Colititer mit Colititerhäufigkeitsverteilung an Entnahmestelle 8

Titer	absolute Häufigkeit	% uale Häufigkeit
KN	1	3,7
10^{-1}	5	18,5
10^{-2}	21	77,8

Deutlicher noch als bei *Escherichia coli* sieht man diese Entwicklung bei den Untersuchungsergebnissen bezüglich des Myxobakteriengehaltes im Regnitzwasser. Im Flußwasser treten erstmalig Spitzenwerte bis zu 130 Kolonien/l auf.

Die erhöhte chronische Grundbelastung spiegelt sich in einer starken Anreicherung der Myxobakterien im fäkalbelasteten Wasser wider.

Nur einmal in 27 Untersuchungsreihen gelang der Nachweis fruktifizierender Myxobakterien nicht.

Zwischen dem Verlauf der Temperaturkurve und der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien konnte bei Entnahmestelle 8 keine Verbindung hergestellt werden. Die Maxima und Minima des Myxobakteriengehaltes erscheinen unabhängig von Temperaturschwankungen.

3.9 Entnahmestelle 9

Auslauf der Kläranlage Nord in Vach

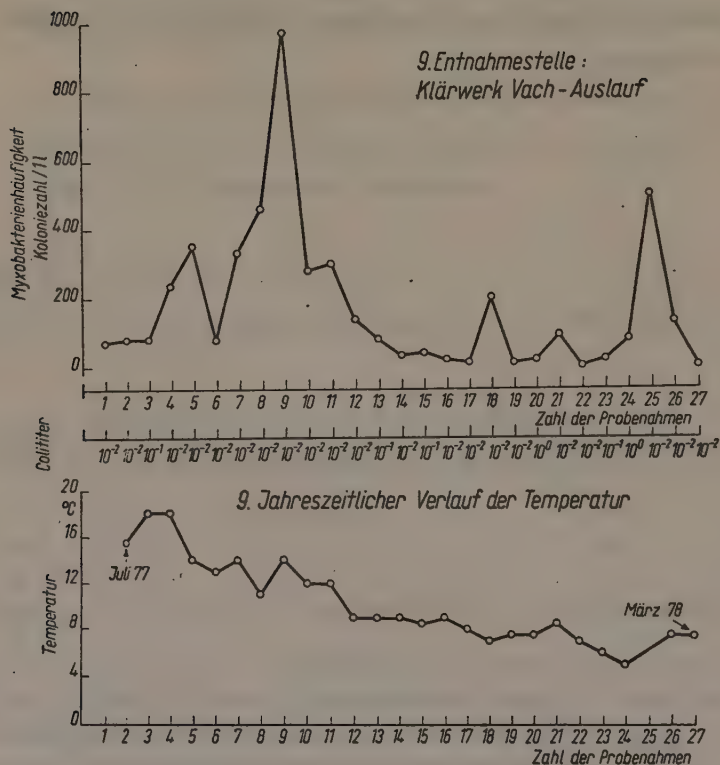


Abbildung 11 zeigt den Verlauf der Anzahl fruk-
 tifizierender Myxobakterien/l in insgesamt 27 Un-
 tersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden
 Colititer an Entnahmestelle 9. Der darunter fol-
 genden Abbildung ist der jahreszeitliche Verlauf
 der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 16

Probe	Wassertemperatur in °C	Coli-titer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	-	10^{-2}	70	bewölkt, am Vortag Regen
2	15,5	10^{-2}	80	bewölkt
3	18	10^{-1}	80	sonnig
4	18	10^{-2}	240	sonnig
5	14	10^{-2}	350	neblig
6	13	10^{-2}	80	sonnig
7	14	10^{-2}	330	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	11	10^{-2}	460	Hochnebel
9	14	10^{-2}	970	neblig
10	12	10^{-2}	280	vereinzelt Regen
11	12	10^{-2}	300	sonnig, klar
12	9	10^{-2}	140	bedeckt, Schneeregen
13	9	10^{-1}	80	bewölkt
14	9	10^{-2}	30	bewölkt
15	8,5	10^{-1}	40	bewölkt
16	9	10^{-2}	20	bewölkt
17	8	10^{-2}	10	bewölkt, um 0°C
18	7	10^{-2}	200	Hochnebel
19	7,5	10^{-2}	10	Hochnebel
20	7,5	10^0	20	bedeckt
21	8,5	10^{-2}	90	Schneeregen
22	7	10^{-2}	KN	bedeckt
23	6	10^{-1}	20	bedeckt
24	5	10^0	80	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	500	bedeckt
26	7,5	10^{-2}	130	bedeckt, stark. Regen
27	7,5	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Regen

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 9.

(KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

Die Verteilung der Escherichia-coli-Titerbereiche von Entnahmestelle 9 ähnelt den Ergebnissen der oben besprochenen Entnahmestelle 8.

Tabelle 17

Colititer mit der Colititerhäufigkeitsverteilung an Entnahmestelle 9.

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
10^0	2	7,4
10^{-1}	4	14,8
10^{-2}	21	77,8

Im Gegensatz zu der E.coli-Verteilung treten bei der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien extrem hohe Koloniezahlen auf. Die Maximalwerte an diesem Entnahmepunkt bewegen sich zwischen 300 und 1.000 Kolonien/l in 5 Untersuchungsreihen und stellen absolute Spitzenwerte in der gesamten Untersuchung dar.

3.10 Entnahmestelle 10:

Erlangen, Regnitz an den Werkern

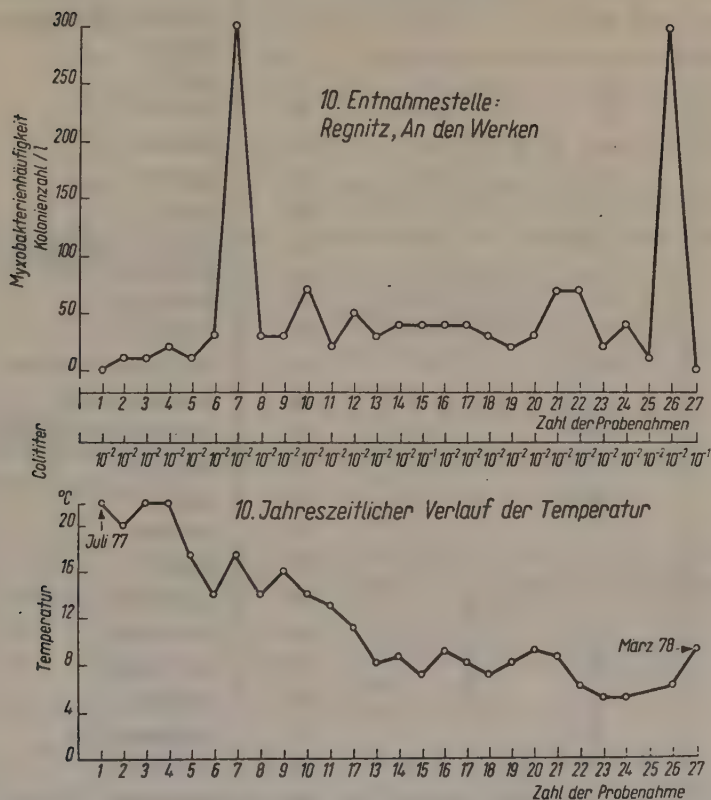


Abbildung 12 zeigt den Verlauf der Anzahl fruktifizierender Mykobakterien/l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden Colititer an Entnahmestelle 10. Der darunter folgenden Abbildung ist der jahreszeitliche Verlauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 18

Probe	Wassertemperatur in °C	Coli-titer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	22	10^{-2}	KN	bewölkt, am Vortag Regen
2	20	10^{-2}	10	bewölkt
3	22	10^{-2}	10	sonnig
4	22	10^{-2}	20	sonnig
5	17,5	10^{-2}	10	neblig
6	14	10^{-2}	30	sonnig
7	17,5	10^{-2}	300	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	14	10^{-2}	30	Hochnebel
9	16	10^{-2}	30	neblig
10	14	10^{-2}	70	vereinzelt Regen
11	13	10^{-2}	20	sonnig, klar
12	11	10^{-2}	50	bedeckt, Schneereg.
13	8	10^{-2}	30	bewölkt
14	8,5	10^{-2}	40	bewölkt
15	7	10^{-1}	40	bewölkt
16	9	10^{-2}	40	bewölkt
17	8	10^{-2}	40	bewölkt, um 0°C
18	7	10^{-2}	30	Hochnebel
19	8	10^{-2}	20	Hochnebel
20	9	10^{-2}	30	bedeckt
21	8,5	10^{-2}	70	Schneeregen
22	6	10^{-2}	70	bedeckt
23	5	10^{-2}	20	bedeckt
24	5	10^{-2}	40	klarer Himmel
25	-	10^{-2}	10	bedeckt
26	6	10^{-2}	300	bedeckt, stark. Regen
27	9	10^{-1}	KN	bedeckt, stark. Regen

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 10.
(KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

Die Entnahmestelle 10 ist 10,1 km von der Entnahmestelle 9 entfernt. Dies ist die längste Selbstreinigungsstrecke im untersuchten Gewässerabschnitt. Trotzdem stellt die Entnahmestelle 10 das Maximum der Fäkalbelastung im gesamten untersuchten Flußabschnitt der Pegnitz und Regnitz dar. Mit einer prozentualen Häufigkeit von 92,6 % im Titerbereich von 10^{-2} zeigt sich hier die höchste Colibelastung im untersuchten Flußabschnitt an. Dieses Ergebnis ist um so gravierender als es nach einer Fließstrecke von 10,1 km ermittelt wurde.

Tabelle 19

Colititer mit der Colititerhäufigkeitsverteilung an der Entnahmestelle 10

Titer	absolute Häufigkeit	%uale Häufigkeit
10^{-1}	2	7,4
10^{-2}	25	92,6

In der Titerverteilung zeigt sich hier am deutlichsten in der ganzen Untersuchungsreihe die Verschiebung zu hohen Verdünnungen als Zeichen für die zunehmende Kontamination mit E.coli im Vorfluter.

Die Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien, deren Durchschnittswert bei 50 Kolonien/l liegt, wird durch zwei Spitzen-

werte in der Untersuchungsreihe 7 und 26 mit jeweils 300 Kolonien/l überragt. Nur zweimal konnte in 27 Untersuchungsreihen kein Myxobakteriennachweis erbracht werden, ein Zeichen für die hohe chronische Fäkalbelastung in diesem Flußabschnitt.

3.11 Entnahmestelle 11:

Auslauf der Erlanger Kläranlage

Nördliche Stadtgrenze

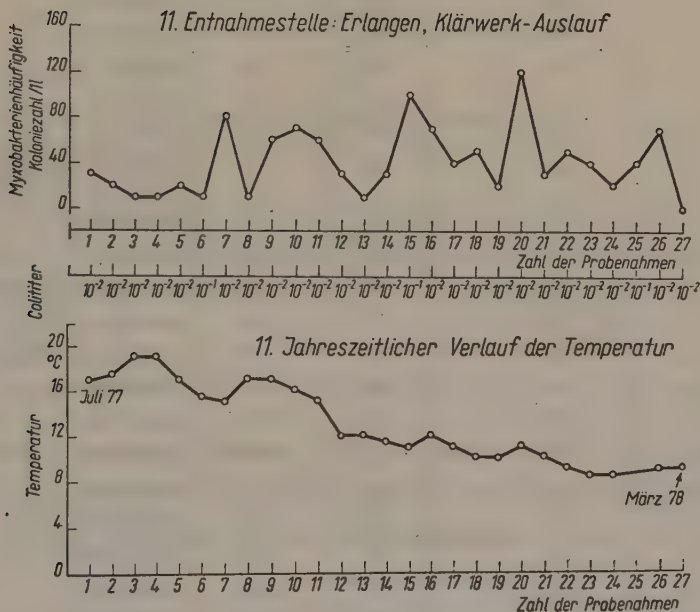


Abbildung 13 zeigt den Verlauf der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien/l in insgesamt 27 Untersuchungsreihen und den jeweils entsprechenden Colittier an Entnahmestelle 11. Der darunter folgenden Abbildung ist der jahreszeitliche Verlauf der Temperatur zu entnehmen.

Tabelle 20

Probe	Wassertemperatur in °C	Colititer	Myxobakterien/l	Wetterbedingungen
1	17	10^{-2}	30	bewölkt, am Vortag Regen
2	17,5	10^{-2}	20	bewölkt
3	19	10^{-2}	10	sonnig
4	19	10^{-2}	10	sonnig
5	17	10^{-2}	20	neblig
6	15,5	10^{-1}	10	sonnig
7	15	10^{-2}	80	bedeckt, am Vortag intens. Regenfälle
8	17	10^{-2}	10	Hochnebel
9	17	10^{-2}	60	neblig
10	16	10^{-2}	70	vereinzelt Regen
11	15	10^{-2}	60	sonnig, klar
12	12	10^{-2}	30	bedeckt, Schneeregen
13	12	10^{-2}	10	bewölkt
14	11,5	10^{-2}	30	bewölkt
15	11	10^{-1}	100	bewölkt
16	12	10^{-2}	70	bewölkt
17	11	10^{-2}	40	bewölkt, um 0°C
18	10	10^{-2}	50	Hochnebel
19	10	10^{-2}	20	Hochnebel
20	11	10^{-2}	120	bedeckt
21	10	10^{-2}	30	Schneeregen
22	9	10^{-2}	50	bedeckt
23	8,5	10^{-2}	40	bedeckt
24	8,5	10^{-2}	20	klarer Himmel
25	-	10^{-1}	40	bedeckt
26	9	10^{-2}	70	bedeckt, stark. Regen
27	9	10^{-2}	KN	bedeckt, stark. Regen

Gesamtübersicht der im Untersuchungszeitraum ermittelten Werte für Wassertemperatur, Colititer, Zahl fruktifizierender Myxobakterien und Wetterbedingungen an Entnahmestelle 11.
(KN = kein Nachweis).

Die Einleitung von Abwasser durch die Erlanger Kläranlage erfolgt in den am stärksten verschmutzten Flußabschnitt der untersuchten Gewässerstrecke. In der Colititerverteilung zeigt sich auch hier eine Kumulation im Titerbereich von 10^{-2} .

Tabelle 21

Colititer mit der Colititerhäufigkeitsverteilung an der Entnahmestelle 11

Titer	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
10^{-1}	3	11,1
10^{-2}	24	88,9

Die Anzahl fruktifizierender Myxobakterien erreicht hier Spitzenwerte bis zu 120 Kolonien/l. Der Myxobakteriennachweis konnte mit einer Ausnahme (27. Untersuchungsreihe) immer erfolgen.

4. Diskussion

4.1 Die direkten (E.coli) und indirekten (fruktifizierenden Myxobakterien) Fäkalindikatoren im untersuchten Gewässerabschnitt

Tabelle 22

Gesamtübersicht der ermittelten Durchschnittswerte für die Zahl fruktifizierender Myxobakterien pro l aus 27 Untersuchungsreihen

Entnahmestelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ø-Zahl der Myxobakterien pro l	18,8	21,4	30,0	27,7	27,0	25,5	42,5	36,6	170,7	50,3	40,7

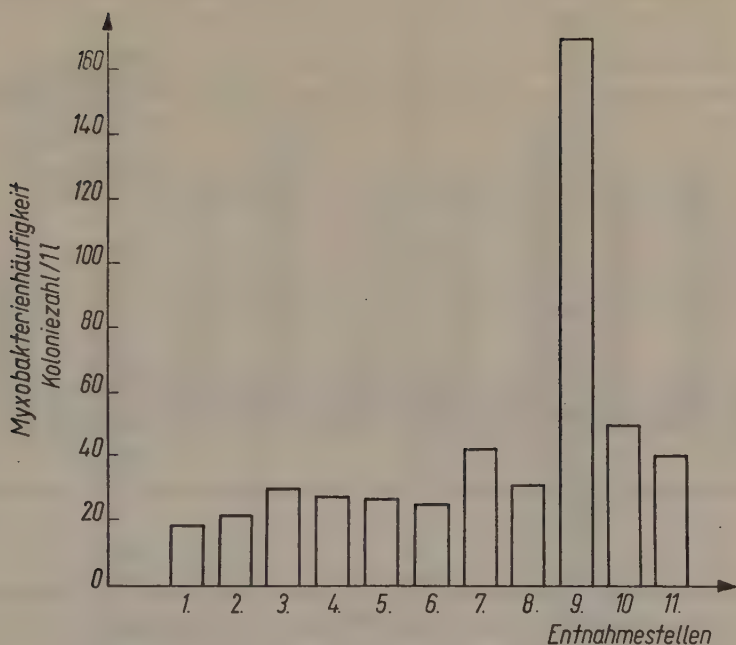


Abbildung 14 zeigt die gemittelte Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien aus 27 Untersuchungsreihen.

Tabelle 23

Entnahmestelle	Verteilung d. Colititer in 27 Untersuchungen		% uale Häufigkeit
1	KN	-	-
	10^0	-	-
	10^{-1}	13	48,2
	10^{-2}	14	51,8
2	KN	1	3,7
	10^0	1	3,7
	10^{-1}	12	44,4
	10^{-2}	13	48,2
3	KN	1	3,7
	10^0	-	-
	10^{-1}	5	18,5
	10^{-2}	21	77,8
4	KN	-	-
	10^0	1	3,7
	10^{-1}	3	11,1
	10^{-2}	23	85,2
5	KN	1	3,7
	10^0	1	3,7
	10^{-1}	7	25,9
	10^{-2}	18	66,7
6	KN	2	7,4
	10^0	-	-
	10^{-1}	5	18,5
	10^{-2}	20	74,1
7	KN	-	-
	10^0	1	3,7
	10^{-1}	3	11,1
	10^{-2}	23	85,2
8	KN	1	3,7
	10^0	-	-
	10^{-1}	5	18,5
	10^{-2}	21	77,8
9	KN	-	-
	10^0	2	7,4
	10^{-1}	4	14,8
	10^{-2}	21	77,8
10	KN	-	-
	10^0	-	-
	10^{-1}	2	7,4
	10^{-2}	25	92,6
11	KN	-	-
	10^0	-	-
	10^{-1}	3	11,1
	10^{-2}	24	88,9

Verteilung der absoluten Häufigkeit des Colititers über den gesamten Untersuchungszeitraum und die prozentuale Verteilung in 27 Untersuchungsreihen. (KN $\hat{=}$ kein Nachweis).

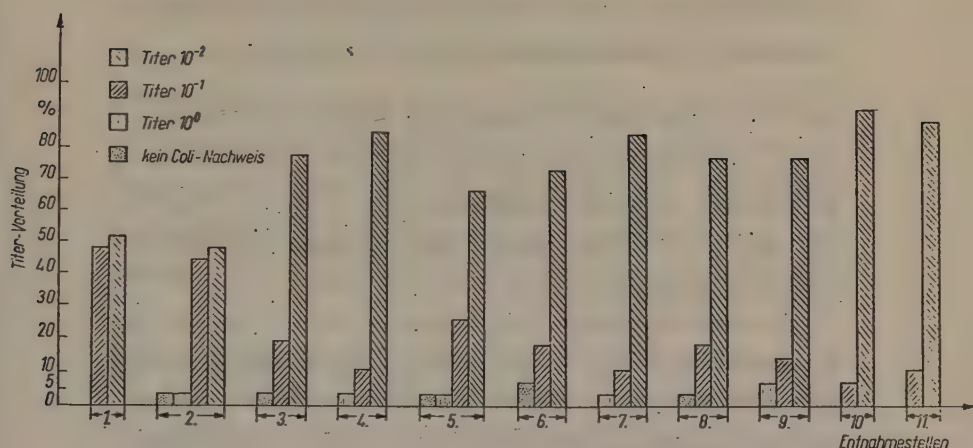


Abbildung 15 zeigt die prozentuale Verteilung des Colititers in 27 Untersuchungsreihen.

Die Entnahmestelle 1 spiegelt mit ihrem insgesamt niedrigen Durchschnittsergebnis der Myxobakterienanzahl von 18,8 Kolonien/l und der Verteilung der E.coli-Titer in niedrigen Verdünnungen einen hinreichenden Gütezustand des Fließgewässers an dieser Entnahmestelle wider. Im Flußverlauf zwischen Wöhrder See und der 3 km entfernten Entnahmestelle 2 erfolgt keine akute Fäkalbelastung, deshalb können hier ähnlich günstige Gewässerhältnisse erwartet werden. Es erfolgt ein nur geringfügiger Anstieg der gemittelten Zahl fruktifizierender Myxobakterien von

18,8 Kolonien/l auf 21,4 Kolonien/l.

Entnahmestelle 1 und 2 stellen zusammen die Gruppe niedrigster Verunreinigung im Vorfluter dar.

Beim E.coli-Nachweis ergeben sich ähnliche Verhältnisse. Im Titerbereich von 10^{-2} erfolgt sogar eine Senkung der relativen Häufigkeit von 51,8% auf 48,2%, was wohl auf eine Verdünnung der Colikeime zurückzuführen sein dürfte.

Entsprechend dem Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan sind die Verhältnisse in diesem Gewässerabschnitt in bezug auf die chronische Fäkalbelastung noch als ausreichend zu bezeichnen.

Diese insgesamt noch günstigen Verhältnisse verschlechtern sich jedoch bei Entnahmestelle 3 deutlich durch die Einleitung von Kläranlagenabwässern.

Die erste schwere Belastung des Vorfluters zeigt sich an Entnahmestelle 4. Beim E.coli-Nachweis kommt es zu einer Verschiebung der Colititerbereiche zu niedrigeren Verdünnungen. Verglichen mit Entnahmestelle 2 zeigt sich im Titerbereich von 10^{-2} eine Steigerung um 37 %.

Die Titerverteilung von Entnahmestelle 4 mit einer prozentualen Häufigkeit (im Titerbereich von 10^{-2}) von 85,2 % wird erst wieder beim Klärwerk Fürth erreicht. Im Flußwasser selbst wird dieses Ergebnis nur in der stark belasteten Vorfluterstrecke bei Entnahmestelle 10 in Erlangen

(mit 92,6 % im Titerbereich von 10^{-2}) übertroffen.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien, die am Entnahmepunkt 4 nachgewiesen wurde, ist mit 27,7 Kolonien/l Flußwasser deutlich gegenüber dem Ergebnis von Entnahmestelle 2 mit 21,4 Kolonien/l erhöht und liegt auch im Vergleich zum vorgeschalteten Klärwerk II nur geringfügig niedriger. Die hohe Fäkalbelastung durch Klärwerk II, Nürnberg, macht sich durch eine Erhöhung der Myxobakterienkoloniezahl bei Entnahmestelle 4 im Vorfluter bemerkbar.

Die Werte der beiden Gewässerparameter bei Entnahmestelle 5, dem Auslauf des Klärwerks I, liegen weit unter dem des vorhergehenden Klärwerks II. Es zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Colititerbereiche hin zu niedrigeren Verdünnungen. Im Titerbereich von 10^{-2} tritt eine Verminderung der relativen Häufigkeit um 11,1 % im Vergleich zu Entnahmestelle 3 auf. Noch deutlicher zeigt sich der Unterschied zum stark belasteten Vorfluter bei Entnahmestelle 4. Der Titerbereich von 10^{-2} wurde bei Entnahmestelle 4 in 23 von 27 Untersuchungsreihen nachgewiesen, bei Entnahmestelle 5 in 18 Fällen. Das entspricht einer prozentualen Verminderung um 18,5 %. Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien liegt mit 27,0 Kolonien/l ebenfalls unter dem Ergebnis von Entnahmestelle 3 mit 30 Kolonien/l.

Stellt man die relativ niedrige Anzahl fruktifizierender Myxobakterien und die deutliche Verschiebung der Colititerbereiche hin zu niedrigeren Verdünnungen den Ergebnissen der Kläranlage II, Nürnberg, und dem sich belasteten Vorfluter bei Entnahmestelle 4 gegenüber, so kommt man zu folgenden Schlüssen:

Die aus den beiden Gewässerparametern ersichtliche Belastung der Pegnitz durch das Hauptklärwerk I (Entnahmestelle 5) ist geringer als durch die Fäkalfracht von Klärwerk II (Entnahmepunkt 3). Die Belastung durch Klärwerk II führt im Colititerbereich von 10^{-2} zwischen Entnahmestelle 2 und 4 zu einer Zunahme um 37 %. Die Abwasserlast von Klärwerk II verursacht im Vorfluter bei Entnahmestelle 4 einen Anstieg des Colititerbereiches von 10^{-2} auf 85,2 %, ein Extremwert im Fließgewässer, der erst im Auslauf des Klärwerks Fürth wieder gemessen wurde. Dies ist Ausdruck eines starken Verschmutzungsgrades des Fließgewässers in diesem Untersuchungsabschnitt. Wichtig zur Beurteilung der Gewässerparameter ist noch die Tatsache, daß die Auswirkungen der Fäkaleinleitung durch Klärwerk II (Entnahmestelle 3) erst nach einer Fließstrecke von 2,1 km beurteilt wurden, einer Strecke, in deren Verlauf eine gewisse Selbstreinigung durch Sedimentation, Abbau oder Verdünnung auftreten kann.

Demgegenüber erscheint die Fäkaleinleitung bei Entnahmestelle 5 nicht so hoch in ihrer Menge und in Anbetracht

der bereits belasteten Gewässer aber bedenklich.

Verglichen mit Entnahmestelle 4 zeigt sich im Vorfluter bei Entnahmestelle 6 eine geringfügige Verminderung der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien von 27,7 Kolonien/l auf 25,5 Kolonien/l. Auch im Colititerbereich von 10^{-2} zeigt sich eine Verminderung von 11,1 %, wobei sich hier unter Umständen eine Verdünnung durch die Rednitz bemerkbar machen könnte.

Entnahmestelle 4 und 6 bilden zusammen eine Gruppe mit starker Fäkalbelastung des Vorfluters durch die beiden Nürnberger Klärwerke. Verglichen mit der Myxobakterienkoloniezahl am Auslauf des Hauptklärwerks (27,0 Kolonien/l) zeigt sich mit 25,5 Kolonien/l bei Entnahmestelle 6 eine Verminderung der Myxobakterienhäufigkeit.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien erreicht bei Entnahmestelle 7, dem Auslauf der Fürther Kläranlage, erstmalig 42,5 Kolonien/l, ein Ergebnis, das weit über dem des Nürnberger Hauptklärwerks (Entnahmestelle 5) liegt (27,0 Kolonien/l). Auch bei der Verteilung der Colititerbereiche zeigt sich eine deutliche Tendenz hin zu höheren Verdünnungen, was eine erhöhte Keimbelastung des untersuchten Abwassers bedeutet gegenüber den beiden Nürnberger Kläranlagen. Für den Titerbereich von 10^{-2} konnte bei Entnahmestelle 7 der Nachweis 23 mal erfolgen, was einer prozentualen Häufigkeit

von 82,5 % entspricht. Im Vergleich zum Nürnberger Hauptklärwerk ist das eine Steigerung um 18,5 %.

Die Kläranlage Fürth ist dafür verantwortlich, daß im folgenden Vorfluterabschnitt Bedingungen geschaffen werden, die zu einer deutlich höheren Anreicherung der fruktifizierenden Myxobakterien führen. Im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan wird diesem Gewässerabschnitt die Güteklasse IV zugeordnet, d.h. er ist übermäßig verschmutzt.

Während des Umstellungszeitraumes der Fürther Kläranlage ergaben sich niedrigere Myxobakterienkoloniezahlen.

Gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien in
5 Untersuchungsreihen

- am neuen Auslauf: 32 Kolonien/l
- am alten Auslauf: 34 Kolonien/l,

was auf anfänglich aufgetretene Anlaufschwierigkeiten zurückzuführen ist.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien vor der Umstellung des Klärwerks lag bei 59,2 Kolonien/l aus 14 Untersuchungsreihen, nach der Umstellung des Klärwerks lag das durchschnittliche Ergebnis bei 20 Kolonien/l aus 8 Untersuchungsreihen. Hier läßt sich eine deutliche Verbesserung der Reinigungsleistung des Klärwerks erkennen.

Der bereits bei Entnahmestelle 6 seuchenhygienisch bedenklich hohe Gehalt an E.coli und Myxobakterien wird durch die Abwassereinleitung des Klärwerkes Fürth weiter gesteigert und führt trotz der langen Fließstrecke von 5,5 km bis zur Entnahmestelle 8 zu einer leichten Erhöhung der Verunreinigungsgradienten im Vorfluter. Verglichen mit Entnahmestelle 6 zeigt sich hier eine Erhöhung der gemittelten Myxobakterienanzahl von 25,5 Kolonien/l auf 36,6 Kolonien/l. Bei der Colititerverteilung zeigt sich nur eine geringe Verschiebung im Titerbereich von 10^{-2} um 3,7 %.

In der Anzahl der Myxobakterien zeigt sich hier eindringlich die hohe Gewässerverschmutzung: im bisherigen Flußverlauf ist die gemittelte Anzahl der Myxobakterien mit 36,6 Kolonien/l das bisher höchste Ergebnis.

In der 15. Untersuchungsreihe wurden erstmalig Werte aus der umgestellten Kläranlage Fürth in Entnahmestelle 7 und die Auswirkungen auf den Vorfluter in Entnahmestelle 8 gemessen. In der Regnitz ist bei Entnahmestelle 8 von Untersuchungsreihe 15 bis 18 ein auffallend erniedrigter Myxobakteriengehalt festzustellen, der wohl in Zusammenhang mit der Kläranlagenumstellung in Fürth zu sehen ist.

In der Abbildung 11 sind die besonderen Verhältnisse der fruktifizierenden Myxobakterien im Auslauf der Kläranlage Vach (Entnahmestelle 9) gezeigt.

Hier konnten in gewissen Abständen extrem hohe Myxobakterienwerte nachgewiesen werden. Die Maxima bewegten sich zwischen 300 Kolonien/l und 970 Kolonien/l. Solche Spitzenwerte sind an den übrigen Kläranlagenausläufen während des gesamten Untersuchungszeitraumes nie annähernd erreicht worden - wie etwa in Fürth mit 120 bis 160 Kolonien/l.

Auch die Durchschnittswerte der fruktifizierenden Myxobakterien liegen mit 170,7 Kolonien/l weit über denen der anderen Entnahmepunkte. Diese Untersuchungsergebnisse bezüglich des Myxobakteriengehaltes lassen annehmen, daß hier eine höhere Fäkalgrundbelastung oder eine geringere Abbauleistung vorliegen muß als in den anderen untersuchten Klärwerken, wobei sich die Myxobakterien in diesem geeigneten Medium verstärkt angereichert haben. Die zusätzliche Fäkalbelastung des Vacher Klärwerkes aus den Fürther Versitzgruben scheint hier eine wichtige Rolle zu spielen.

Speziell in 5 Untersuchungsreihen wurden diese hohen Werte noch weiter überschritten (in der 5., 7., 8., 9. und 25. Versuchsreihe).

Diese intervallartig auftretende extreme Fäkalbelastung

konnte bei E.coli nicht nachgewiesen werden. Der Titerbereich von 10^{-2} wurde zwar bei der 5., 7., 8., 9. und 25. Untersuchungsreihe immer nachgewiesen, aber durch die Beschränkung auf den Titerbereich von 10^{-2} als höchste Verdünnung konnten derartige Spitzenbelastungen nicht eindeutig verfolgt werden. Bei höheren Verdünnungen würde sich der Titer 10^{-2} wohl noch weiter aufspalten lassen.

In der Untersuchungsreihe 7 und 26 treten bei Entnahmestelle 10 zwei Maxima von 300 Myxobakterienkolonien/l auf. Bei Entnahmestelle 9 zeigen sich in Untersuchungsreihe 7 ebenfalls 330 Kolonien/l, bei der Untersuchungsreihe 26 130 Kolonien/l. Hier scheint eine Fortsetzung der Myxobakterienspitzenwerte über eine Verlaufstrecke von 10,1 km vorzuliegen.

Vergleicht man die gemittelten Myxobakterienkoloniezahlen mit denen von Entnahmestelle 8, dann zeigt sich in der Erhöhung von 36,6 Kolonien/l auf 50,3 Kolonien/l bei Entnahmestelle 8 noch deutlicher die chronische langzeitliche Gewässerbelastung.

Die Gewässergüte wird bei Entnahmestelle 10 wie bei Entnahmestelle 8 im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan der Güteklasse IV zugeordnet, Ausdruck übermäßiger Verschmutzung und eines seuchenhygienisch äußerst bedenklichen

Zustandes. Die akute Verschlechterung, die aus der Zunahme der gemittelten Myxobakterienanzahl zwischen Entnahmestelle 8 und 10 ersichtlich wird, zeigt die erneute extreme Belastung des Vorfluters, die größtenteils vom Klärwerk Vach ausgeht.

Beim E.coli-Nachweis zeigt sich diese Verschlechterung in einer Kumulation im Titerbereich von 10^{-2} mit 92,6 % relativer Häufigkeit. Dies stellt den absoluten Maximalwert in der Untersuchung dar.

Aus den Untersuchungsergebnissen beider Gewässerparameter kann man schließen, daß durch die Abwassereinkleitung des Klärwerkes Vach der schon außerordentlich verschmutzte Vorfluter noch zusätzlich schwer belastet wird, so daß hier das Gleichgewicht zwischen Fäkaleinkleitung und Selbstreinigung durch Sedimentation oder Verdünnung und Abbau empfindlich gestört wird.

Vergleicht man die gemittelten Myxobakterienkoloniezahlen von Entnahmestelle 11 (40,7 Kolonien/l) mit dem Ergebnis von Entnahmestelle 9 (170,7 Kolonien/l), so fällt die deutlich niedrigere Grundbelastung auf und auch die niedrigeren Maxima in Entnahmestelle 11. Dies spricht für eine günstigere Belastungssituation des Klärwerkes Erlangen. Beim Vergleich der Myxobakterienanzahl mit Entnahmestelle 10 wird auch eine leichte Verringerung der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien bei Entnahmestelle 11 festgestellt. Insgesamt muß jedoch auch hier

die hohe Fäkalbelastung durch das Kläranlagenabwasser betont werden.

Verglichen mit den E.colititern von Entnahmestelle 9 findet man im Titerbereich von 10^{-2} bei Entnahmestelle 11 eine Steigerung um 11,1 %. Im Vergleich zum vorgeschalteten Vorfluter findet sich eine geringfügige Abnahme im Titerbereich von 10^{-2} um 3,7 %.

Diese Verteilung der E.colititer läßt bezüglich der Fäkalbelastung folgende Schlüsse zu:

- Durch die Kläranlage Erlangen erfolgt in Entnahmestelle 11 eine weitere starke organische Verunreinigung eines bereits übermäßig verschmutzten Gewässerabschnittes.
- Aus der Verteilung der E.coli-Titerbereiche ist im Vergleich zu Entnahmestelle 9 eine weitere Verschiebung hin zu höheren Verdünnungen, also ein höherer Verschmutzungsgrad, ersichtlich.
- Verglichen mit den Maximalwerten des E.coli-Ergebnisses von Entnahmestelle 10, zeichnet sich bei Entnahmestelle 11 ein geringfügig besseres Ergebnis ab. Trotzdem ist das Gewässer hier extrem stark verschmutzt. Der Unterschied zwischen Entnahmestelle 10 und 11 ist sehr gering. Beide weisen hinsichtlich der E.coli-Titerverteilung den höchsten Verschmutzungsgrad des Fließgewässers auf.

4.2 Fäkalbelastung und Selbstreinigungskraft des Gewässers

Der Vorgang der biologischen Selbstreinigung eines Fließgewässers ist ein äußerst vielschichtiger Vorgang, der einer Vielzahl von Beeinflussungen wie Temperatur, Nährstoffangebot, O_2 - Eintrag, Ufergestaltung und Turbulenzen, Fließgeschwindigkeit und Zuflüssen unterliegt.

Hier soll mit Hilfe der untersuchten Gewässerparameter (E.coli-Titer, Myxobakterienkoloniezahl) die Fäkalbelastung und die Veränderung über bestimmte Strecken des Fließgewässers untersucht werden.

Wie weit die Mikroorganismen durch Sedimentation, Temperatur, Absterberate, Schadstoffe und Sauerstoffverbrauch beeinflusst worden sind, ist in der Untersuchung mit zwei Gewässerparametern schwer zu beurteilen. Schwebstoffe aus Kläranlagen können sich als Bodenschlamm absetzen oder durch die Flußströmung wieder aufgewirbelt werden und unterliegen so entweder einem schnelleren aeroben oder einem langsameren anaeroben Abbau.

Die Entfernung der Entnahmestellen der untersuchten Flußstrecken ist nicht einheitlich und die Belastung des Vorfluters wechselt in seinem Verlauf mit der schwankenden Belastung durch Klärwerke und damit dem Gütezustand des geklärten Abwassers.

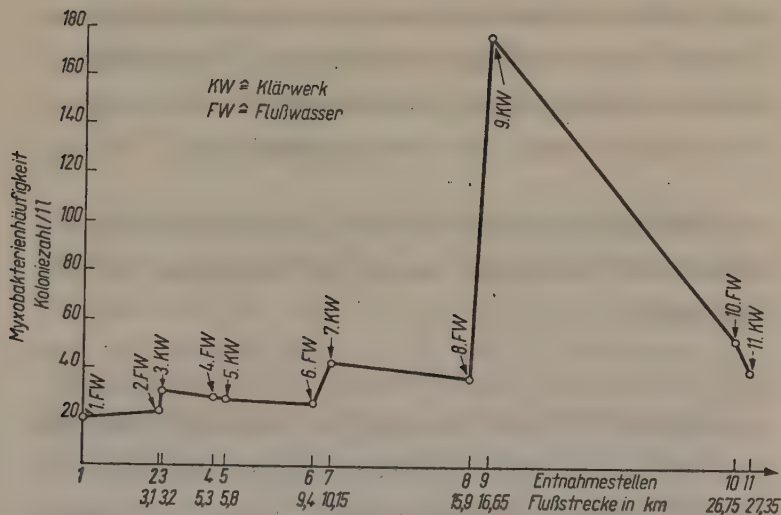


Abbildung 16 zeigt die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien aus 27 Untersuchungsreihen in Abhängigkeit der Entfernung der Entnahmestellen.

Entnahmepunkt 1 und 2 stellen im untersuchten Flußverlauf die Stellen der geringsten Flußverschmutzung dar. Der Wöhrder See erfüllt die Funktion eines großen Absatzbeckens für Schweb- und Fäkalstoffe aus dem Oberlauf der Pegnitz. Über eine Fließstrecke von 3 km kann man von Entnahmestelle 1 bis Entnahmestelle 2 eine geringfügige Anreicherung der fruktifizierenden Myxobakterien beobachten, die wahrscheinlich auf einer geringen

chronischen Fäkalbelastung beruht. Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien verschiebt sich von 18,8 Kolonien/l bei Entnahmestelle 1 geringfügig auf 21,4 Kolonien/l bei Entnahmestelle 2, ein im Vorfluterbereich immer noch sehr niedriger Wert.

Die Gewässergüte an dieser Stelle wird im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Regnitz der Güteklasse II/III zugeordnet.

Beim Nachweis der Colititerbereiche kommt es zwischen Entnahmestelle 1 und 2 zu einer geringfügigen Verschiebung hin zu niedrigeren Verdünnungen. Der Titerbereich von 10^{-2} wurde bei Entnahmestelle 1 14 mal in 27 Untersuchungsreihen nachgewiesen und entsprechend bei Entnahmestelle 2 13 mal. Dies entspricht einer Verminderung in diesem Titerbereich um 3,6 %.

Die gleiche Tendenz ist im Titerbereich von 10^{-1} zu beobachten. Bei Entnahmestelle 1 erfolgte der Nachweis in 13 von 27 Untersuchungen, bei Entnahmestelle 2 in 12 von 27 Untersuchungen, was einer Verminderung in diesem Titerbereich von 3,8 % gleichkommt.

Diese Ergebnisse sprechen für eine multifaktorielle Verdünnung der E.coli-Keime durch Sedimentation und rascheres Absterben bei ungünstigen Temperaturverhältnissen.

Die erste akute fäkale Belastung im untersuchten Ge-

wässerabschnitt erfolgt durch das Klärwerk I, Nürnberg. Die Auswirkungen auf den Vorfluter machen sich bei Entnahmestelle 4 nach einer Fließstrecke von 2,1 km durch Anreicherung der Myxobakterien und sprunghaftes Ansteigen der Colikeime bemerkbar.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien steigt bei Entnahmestelle 3 im Kläranlagenauslauf auf 30 Kolonien/l an und zeigt im Vorfluter bei Entnahmestelle 4 noch das Durchschnittsergebnis von 27,7 Kolonien/l.

Beim Coli-Nachweis zeigt sich im Titerbereich von 10^{-2} eine Steigerung um 7,4 % von Entnahmestelle 3 bis 4, trotz der langen Fließstrecke von 2,1 km und einer Verdünnung durch das erheblich geringer belastete Flußwasser.

Die Ergebnisse beider Gewässerparameter zeigen eine akute hohe Fäkalbelastung an, die auf der Fließstrecke zwischen dem Auslauf der Kläranlage II und der Kläranlage I kaum abgebaut werden kann. Die Flußbelastung ist, verglichen mit Entnahmestelle 2, deutlich größer geworden. Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien ist von 21,4 Kolonien/l auf 27,7 Kolonien/l bei Entnahmestelle 4 gestiegen. Die gleiche Tendenz drückt sich auch in der Verschiebung der Colititerbereiche aus: Der Titerbereich von 10^{-2} stieg zwischen Entnahmestelle 2 und 4 um 37 % an. Das Klärwerk II, Nürnberg, scheint nach diesen Ergebnissen eine extrem hohe Belastung des Vorfluters darzustellen und trotz seiner langen Flußstrecke reicht das Selbstreinigungsvermögen des Fließgewässers nicht aus.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien liegt bei Entnahmestelle 5, d.h. bei dem Auslauf der Kläranlage I, Nürnberg, mit 27 Kolonien/l deutlich unter dem bei Entnahmestelle 3 erreichten Ergebnis von 30 Kolonien/l. Beim Colinachweis zeigt sich in Abbildung 15 die gleiche Tendenz. Die Gewässergüte der Pegnitz wird in diesem Abschnitt der Güteklasse III im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan zugeordnet, d.h. stark verschmutzt.

Bis zum Entnahmepunkt 6 (Zusammenfluß von Rednitz und Pegnitz) findet auf einer Fließstrecke von 3,6 km ein langsamer Selbstreinigungsprozeß statt, der sich in den beiden gemessenen Parametern niederschlägt.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien liegt mit 25,5 Kolonien/l unter dem Wert der Pegnitz bei Entnahmestelle 4 mit 27,7 Kolonien/l. Beim Colinachweis tritt auch eine Verschiebung zu niedrigeren Verdünnungen auf. Im Titerbereich von 10^{-2} ist von Entnahmestelle 4 bis 6 eine Verminderung um 11,1 % eingetreten. Nach einer Fließstrecke von 3,6 km ist nach diesen Werten ein beachtlicher Selbstreinigungseffekt des Vorfluters zu bemerken. Allerdings bleibt die Einleitung der Rednitz vor Entnahmestelle 6 hinsichtlich einer eventuellen Veränderung der in der Pegnitz herrschenden Flußbelastung unberücksichtigt.

Bei Entnahmestelle 7 erfolgt die Einleitung einer hohen Fäkalfracht durch das Klärwerk Fürth. Hier treten im bisher untersuchten Gewässerabschnitt die höchsten Myxobakterienmittelwerte von 42,5 Kolonien/l auf und die Kumulation von E.coli im Titerbereich von 10^{-2} mit einer prozentualen Häufigkeit von 85,2 % zeigen die akute Fäkalbelastung an.

Bis zum Entnahmepunkt 8 (Schmidt-Mühle in Vach) nach einer Fließstrecke von 5,75 km durch ländliches Gebiet, erfolgt ein geringfügiger Abfall des Colititerbereiches von 10^{-2} (als höchste Fäkalbelastung) um 7,4 % von Entnahmestelle 7 bis 8.

Die gemittelte Myxobakterienanzahl zeigt ebenfalls eine Verminderung von 42,5 Kolonien/l auf 36,6 Kolonien/l. Vergleicht man allerdings die Vorfluterergebnisse von Entnahmestelle 6 und Entnahmestelle 8, dann zeigt sich eine weitere Verschlechterung in den beiden Verunreinigungsparametern. Die gemittelte Anzahl der Myxobakterien aus 27 Untersuchungsreihen erhöht sich von Entnahmestelle 6 mit 25,5 Kolonien/l auf 36,6 Kolonien/l bei Entnahmestelle 8. Auch im Colititerbereich von 10^{-2} zeigt sich eine geringfügige Steigerung um 3,7 %.

Die ständig ansteigende Grundbelastung des Vorfluters trotz relativ langer Fließstrecken zeigt die Überlastung

mit Fäkalstoffen deutlich an. Die Abbaurate organischer Stoffe und damit die Zahl der Bakterien ist durch die Abwasserbelastung nicht nennenswert, so daß von einer Erholung des Gewässers nicht gesprochen werden kann.

Am Auslauf des Klärwerkes Vach, der Entnahmestelle 9, ergeben sich hinsichtlich des Myxobakteriennachweises besondere Verhältnisse:

- Hier treten absolute Maxima auf, die in dieser Höhe an keinem Kläranlagenauslauf sonst zu beobachten waren.
- Die deutlich erhöhte Belastung mit Fäkalien drückt sich in einer außergewöhnlich starken Anreicherung der fruktifizierenden Myxobakterien aus, deren gemittelte Anzahl aus 27 Untersuchungsreihen hier 170,7 Kolonien/l beträgt.

Die Extrembelastung durch Klärwerk Vach wird auf einer Fließstrecke von 10,1 km bis zur Entnahmestelle 10 abgebaut, eine Erhöhung der Vorfluterbelastung kann nicht vermieden werden. Diese hohe Fäkalbelastung drückt sich beim Colititer mit der stärksten Kumulation der Untersuchungsreihe im Titerbereich von 10^{-2} aus. Der Nachweis erfolgte in 25 Fällen von 27 Untersuchungsreihen, das entspricht einer Häufigkeit von 92,6 %. In der Colititerverteilung zeigt sich nach der langen Fließstrecke

von ca. 10 km, daß die Selbstreinigungsleistung des Gewässers hier eindeutig überfordert wird, und daß das Gleichgewicht zwischen Belastung und Abbau völlig gestört ist.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien beträgt an Entnahmestelle 10 50,3 Kolonien/l, sie erreicht damit den höchsten Wert dieser Untersuchung im Gewässer und zeigt durch diese extrem starke Anreicherung den seuchenhygienisch äußerst bedenklichen Zustand dieses Abschnittes an.

Der gemittelte Myxobakterienwert von Entnahmestelle 11, dem Auslauf der Erlanger Kläranlage, liegt unter dem des Vorfluters von Entnahmestelle 10 und unterstreicht nochmals den hier erreichten Verunreinigungsgrad des Fließgewässers.

Entsprechend Abbildung 16 und Abbildung 14 steigt die Grundbelastung von Pegnitz und Regnitz, gemessen an den beiden Verunreinigungsparametern, trotz unterschiedlich langer Selbstreinigungsstrecken, kontinuierlich an.

Ein geringfügiger Abbau ist auf jeder längeren Fließstrecke zu beobachten, aber im Vergleich zu den hinzukommenden Abwasserbelastungen seitens der fünf Kläranlagen kann die Selbstreinigungsleistung zum Erzielen eines befriedigenden Gewässerzustandes nicht ausreichen.

4.3 Einfluß von Schönwetter- und Regenperioden auf E.coli und fruktifizierende Myxobakterien

Zur Beurteilung der Verteilung des Myxobakterien-
gehaltes bei Regen- und Trockenperioden wurden 3
Versuchsreihen in wöchentlichem Abstand bei trockene-
ner Witterung durchgeführt, und 2 Versuchsreihen
in wöchentlichem Abstand bei Regenwetter. In diesen
2 Perioden soll aufgezeigt werden, ob es bei grösse-
rer Wärme im Gewässer zu einer Erhöhung der Bakte-
riendichte bzw. bei kalter und feuchter Witterung
unter Umständen zu einer Erhöhung der Absterberate
der Bakterien kommt.

Tabelle 24

Entnahmestelle	Schönwetterperiode		Regenperiode	
3	80	Kolonien/l	0	Kolonien/l
5	73	" "	0	" "
7	77	" "	15	" "
9	223	" "	65	" "
11	13	" "	35	" "

Gemittelte Werte der Myxobakterienkoloniezahl aus den Kläranlagenausläufen bei schönem, trockenem Wetter von den Untersuchungsreihen 4, 5, 6.
Bei Regenwetter stammen die gemittelten Werte aus Untersuchungsreihen 26 und 27.

Tabelle 25

Entnahmestelle	Schönwetterperiode			Regenperiode	
(Untersuchungsreihe	4	5	6	26	27)
3	10^{-2}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}
5	10^{-2}	KN	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
7	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}
9	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}
11	10^{-2}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}

E.coli-Titerergebnisse, Untersuchungsreihen 4,5,6 bei schönem, trockenem Wetter; Untersuchungsreihen 26, 27 bei Regenwetter. (KN = kein Nachweis).

Tabelle 26

Entnahmestelle	Schönwetterperiode	Regenperiode
3	15,8°	11°
5	17,8°	11°
7	18°	10,2°
9	15°	7,5°
11	17,1°	9°

Durchschnittstemperaturen für Schönwetter- und Regenperiode

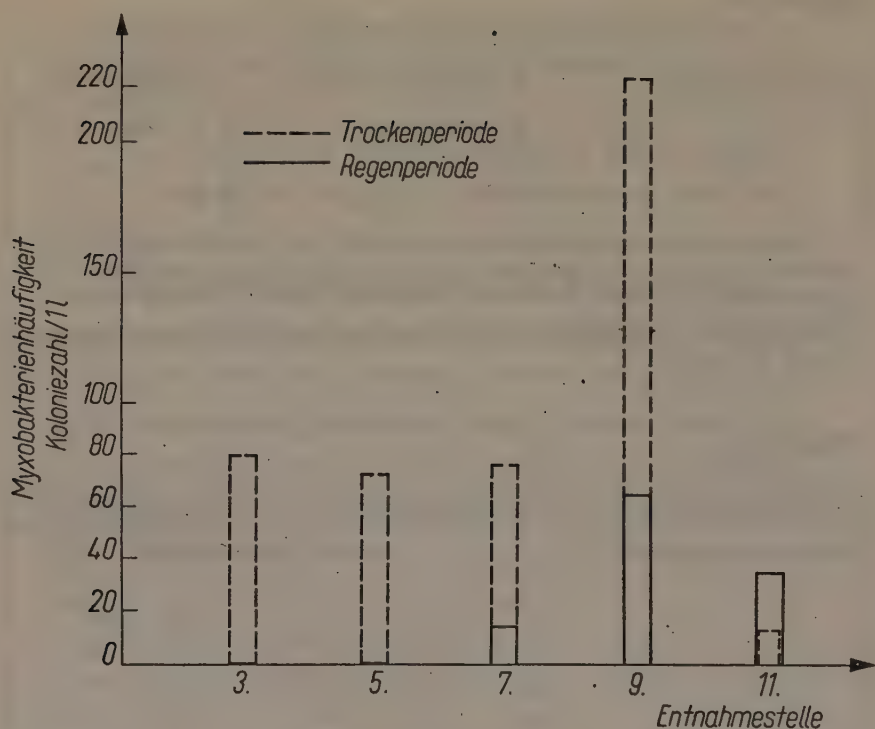


Abbildung 17 zeigt die gemittelten Werte der Myxobakterienkoloniezahl aus den Kläranlagenausläufen bei schönem, trockenem Wetter von den Untersuchungsreihen 4, 5 und 6.

Die gemittelten Werte der Regenperiode stammen aus Untersuchungsreihen 26 und 27.

Die in den Tabellen 24, 25, 26 und Abbildung 17 ersichtlichen Untersuchungsergebnisse der Wasserproben aus den Kläranlagenausläufen lassen bezüglich des Gehalts an fruktifizierenden Myxobakterien folgende Feststellungen zu:

- Die mittlere Anzahl fruktifizierender Myxobakterien aus den Untersuchungsreihen 4,5,6 während der Schönwetterperiode ist, verglichen mit den Mittelwerten der Regenperiode, deutlich erhöht in Entnahmestelle 3, 5, 7, 9. Die Durchschnittstemperaturen der Schönwetterperiode im Abwasser liegen erwartungsgemäß über den Durchschnittstemperaturen, die für die Regenperiode ermittelt wurden.

Dies läßt vermuten, daß sich bei Regenwetter durch vermehrte Wasserführung der Klärwerke bei relativer Verminderung des Fäkalstoffgehaltes pro Liter Abwasser eine verminderte Anreicherung der Myxobakterienkeime ergibt oder, daß es bei dem verminderten Temperaturniveau zum vermehrten Absterben der Bakterien kommt.

- Die mittlere Anzahl fruktifizierender Myxobakterien bei Entnahmestelle 11 (Auslauf Klärwerk Erlangen) beträgt in der Regenperiode 35 Kolonien/l und bei trockener Witterung 13 Kolonien/l. Hier treten in

der Regenperiode also mehr fruktifizierende Myxobakterien auf als bei trockener Witterung. Bei den vorhergehenden Klärwerken war die durchschnittliche Myxobakterienanzahl während der Regenperiode erniedrigt, im Gegensatz zum Ergebnis der Entnahmestelle 11 in der 26. und 27. Untersuchungsreihe.

Es erscheint möglich, daß die hohe Fäkalbelastung des Vorfluters in diesem Gewässerabschnitt zu diesem, den Erwartungen entgegengesetzten, Wert geführt hat, oder daß er aus den für die Erlanger Kläranlage spezifischen Belastungen in diesem Untersuchungszeitraum resultiert.

E.coli konnte in der Regenperiode immer an den zwei Entnahmetagen in dem Titerbereich von 10^{-2} , also in der höchsten untersuchten Verdünnung, nachgewiesen werden.

In der Schönwetterperiode konnte der Nachweis nicht immer erfolgen. Am 4. Untersuchungstag ließ sich E.coli im Titerbereich von 10^{-2} immer nachweisen, am 5. und 6. Untersuchungstag ist eine zunehmende Verschiebung zu Titerwerten mit niedrigerer Verdünnung zu erkennen, so daß am 5. Untersuchungstag sogar einmal kein E.coli-Nachweis erfolgte. Am 6. Untersuchungstag erfolgte der Colititernachweis 3 mal im Titerbereich von 10^{-1} .

4.4 Verhalten von Temperatur und Fäkalindikatorkeimen im untersuchten Gewässerabschnitt

Der klassische direkte Fäkalindikatorkeim *E.coli* hat sein Temperaturoptimum bei 37° C im Darminhalt von Menschen und warmblütigen Tieren. Die anderen, als Coliforme, bezeichnete Bakterien, können fäkalen Ursprungs sein, haben ihren Hauptvermehrungsort aber in Oberflächengewässern und Abwässern. Infolge seiner raschen Absterberate ist der klassische Fäkalindikator *E.coli* unter Umständen nicht mehr geeignet, chronische Fäkalstoffbelastung in Oberflächengewässern unter ungünstigen Temperaturverhältnissen verlässlich nachzuweisen. Nach GRÄF haben Myxobakterien ihr Vermehrungsoptimum bereits bei der niedrigen Temperatur von 33 - 34 ° C und zeigen bei 37 °C schon erhebliche Wachstumsdepressionen.

Das Verhalten fruktifizierender Myxobakterien sollte hier an drei ausgewählten Temperaturblöcken untersucht werden: bei extrem hohen, niedrigen und durchschnittlichen Temperaturen. Der Temperaturblock extrem hoher und extrem niedriger Wassertemperaturen wurde jeweils aus 3 Versuchsserien zusammengestellt.

Als Vergleich zu den Extremtemperaturbereichen und den ihnen zugehörigen Myxobakterienwerten dient die Durchschnittstemperatur und die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien pro l aus 27 Untersuchungsreihen.

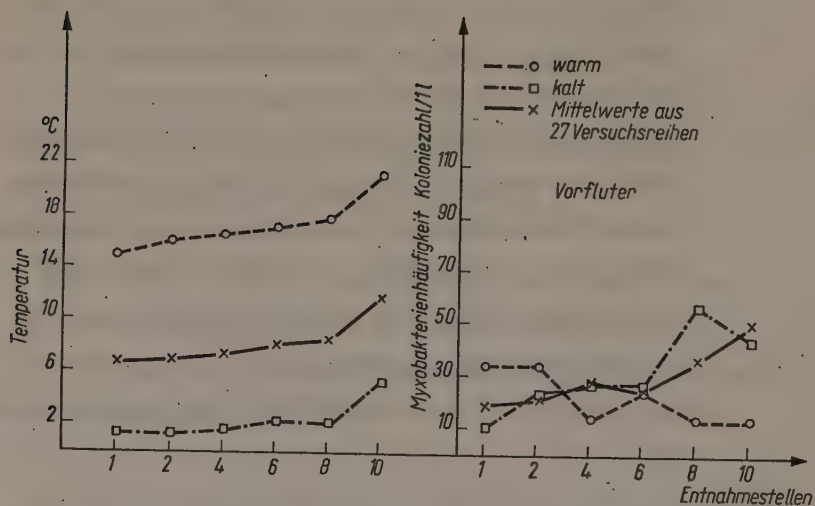


Abbildung 18: Darstellung der drei Temperaturkurven und der Verlauf der Myxobakterienhäufigkeit an den Entnahmepunkten aus dem Vorfluter.

Abbildung 19: Darstellung der drei Temperaturkurven und der Verlauf der Myxobakterienanzahl an den 11 Entnahmestellen aus Vorfluter und Kläranlagenausläufen.

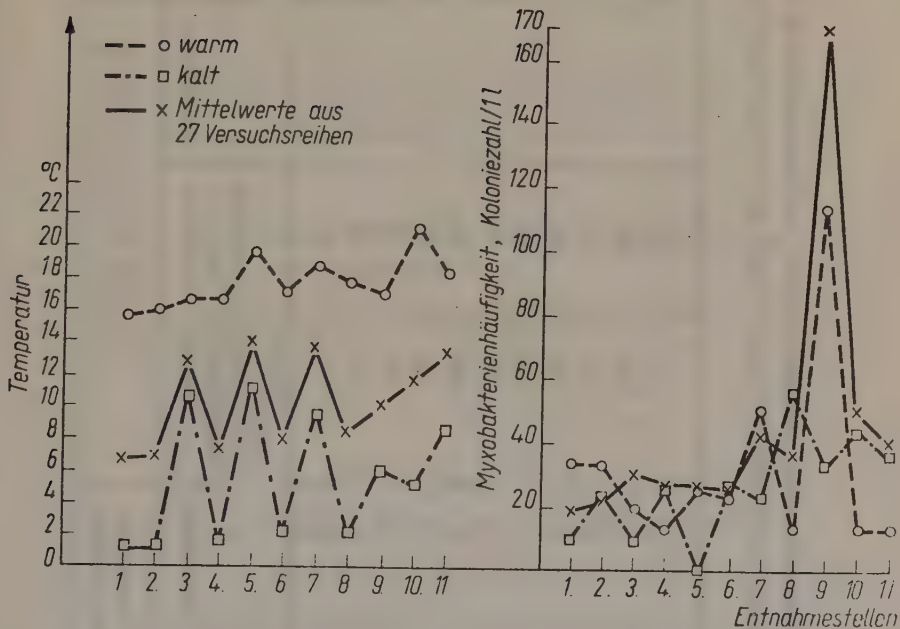


Tabelle 27

a.) Die Versuchsreihen bei kalten Temperaturen erfolgten am 6., 13. und 20. Februar 1978				b.) Die Versuchsreihen bei warmen Temperaturen erfolgten am 2., 9. und 16. August 1977				c.) Temperatur- und Myxobakteriendurchschnittswerte		
Entnahmestelle	Mittelwert aus 3 Temperaturmessungen in °C	Mittelwert fruktifizierender Myxobakterien aus 3 Versuchsreihen Kolonien/2		Entnahmestelle	Mittelwert aus 3 Temperaturmessungen in °C	Mittelwert fruktifizierender Myxobakterien aus 3 Versuchsreihen Kolonien/1		Entnahmestelle	Temperaturmittelwert aus 26 Untersuchungen in °C	gemittelte Anzahl d. Myxobakterien pro 1 aus 27 Untersuchungen
1)	1,3	10		1)	15,6	33,3		1)	6,8	18,8
2)	1,3	23,3		2)	16	33,3		2)	7,0	21,4
3)	10,6	10		3)	16	20		3)	12,9	30
4)	1,6	26,6		4)	16,5	13,3		4)	7,4	27,7
5)	11,1	0		5)	19,6	26,6		5)	14,2	27
6)	2,3	26,6		6)	17,1	23,3		6)	8,1	25,5
7)	9,5	23,3		7)	18,8	50		7)	13,8	42,5
8)	2,1	56,6		8)	17,8	13,3		8)	8,5	36,6
9)	6,0	33,3		9)	17,1	133,3		9)	10,3	170,7
10)	5,3	43,3		10)	21,3	13,3		10)	11,8	50,3
11)	8,6	36,6		11)	18,5	13,3		11)	13,0	40,7

Gesamtübersicht über die in drei Temperaturbereichen ermittelten Durchschnittstemperaturen und die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien der entsprechenden Versuchsreihen.

Tabelle 28

Übersicht über die Colititerverteilung in den drei Versuchsreihen bei kalter und bei warmer Temperatur

a.) Die Versuchsreihen bei kalten Temperaturen am 6., 13. und 20. Februar 1978

Titer	06.02.	13.02.	20.02.
KN	1	0	0
10^0	0	0	2
10^{-1}	1	5	1
10^{-2}	9	6	8

b.) Die Versuchsreihen bei warmen Temperaturen am 2., 9. und 16. August 1977

Titer	02.08.	09.08.	16.08.
KN	0	1	0
10^0	0	0	0
10^{-1}	0	2	0
10^{-2}	11	8	11

Betrachtet man den Verlauf der 3 Temperaturkurven und den Verlauf der Myxobakterienhäufigkeit im Vorfluter in Diagramm 19, so erscheint folgendes bemerkenswert:

- Im Verlauf des Vorfluters von Entnahmestelle 1 bis 8 ist bei den jeweils 3 Untersuchungsreihen kalter Temperatur, warmer Witterung und der Durchschnittstemperatur ein kontinuierlicher Temperaturanstieg festzustellen. Diese Erwärmung des Vorfluters durch Abwassereinleitung hält sich, wie aus Abbildung 18 ersichtlich, bis zum Entnahmepunkt 8 des Vorfluters in erträglichen Grenzen. Zwischen Entnahmestelle 8 und 10 findet sich bei allen 3 Temperaturblöcken eine Erhöhung der Gewässertemperatur um durchschnittlich $1,5^{\circ}\text{C}$ bis 2°C . An diesem Temperatursprung im untersuchten Gewässerabschnitt ist wohl die Einleitung von aufbereitetem aufgewärmten Regnitzwasser durch Heizkraftwerk II maßgeblich beteiligt.

In den drei Untersuchungsreihen bei relativ kalter Temperatur konnte im Vorfluter ein stetiges Zunehmen der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien mit steigender Abwasserbelastung des Gewässers beobachtet werden.

- In den drei Untersuchungsreihen bei kalter Witterung ergab sich für die Entnahmestelle 1 die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien von 10 Kolonien/l bei der gleichzeitig niedrigsten Vorflutertemperatur der Untersuchungsreihe.

Im Vergleich zur durchschnittlichen Myxobakterienanzahl von 18,8 Kolonien/l an Entnahmestelle 1 liegt das Ergebnis aus den 3 Untersuchungsreihen bei kalter Temperatur mit 10 Kolonien/l deutlich niedriger.

Im Colititerbereich wurde 2 mal der Titer von 10^{-1} und in einem Fall der Titer von 10^{-2} nachgewiesen.

In der Verteilung der Colititerbereiche von Entnahmestelle 2 in den 3 kalten Temperaturmessungen zeigt sich noch eine geringfügige Verschiebung zu niedrigeren Verdünnungen. Der Titerbereich von 10^0 , 10^{-1} und 10^{-2} wurde jeweils einmal nachgewiesen.

- Im Verlauf der Myxobakterienanzahl der 3 Untersuchungsreihen bei warmer Temperatur ist an den Entnahmestellen 1 und 2 eine relativ hohe Myxobakterienanzahl von jeweils 33,3 Kolonien/l festzustellen. Bei Entnahmestelle 3 ist ein Abfall der fruktifizierenden Myxobakterien bis zu Entnahmestelle 4 mit 13,3 Kolonien/l bemerkenswert. Die bei den drei warmen Temperaturmessungen ermittelte Temperatur an Entnahmestelle 3 ist im Ver-

gleich zu den Temperaturen der anderen Kläranlagenausläufe auffallend niedrig und liegt auf dem Niveau der Flußtemperatur, die bei Entnahmestelle 4 gemessen wurde. Im Vergleich zu den durchschnittlichen Myxobakterienwerten der anderen Kläranlagen in den 3 Untersuchungsreihen warmer Temperatur ist die Anzahl von 20 Kolonien/l bei Entnahmestelle 3 ebenfalls sehr niedrig. Gleichzeitig konnte in allen drei Untersuchungsreihen warmer Temperatur an Entnahmestelle 3 der Colititerbereich von 10^{-2} nachgewiesen werden, was die hohe Fäkalbelastung anzeigt.

- In den drei Untersuchungsreihen bei kalter Temperatur fällt in Abbildung 19 die stark schwankende Anzahl fruktifizierender Myxobakterien im Vorfluter und im Kläranlagenauslauf auf.

Bei Entnahmestelle 3 (mit 10 Kolonien/l),

- Entnahmestelle 5 (mit 0 Kolonien/l),
- Entnahmestelle 7. (mit 23,3 Kolonien/l),
- Entnahmestelle 9 (mit 33,3 Kolonien/l)

und Entnahmestelle 11 (mit 36,6 Kolonien/l)

treten im Kläranlagenauslauf relativ niedrige Myxobakterienkoloniezahlen auf, während im Vorfluter bei Entnahmestelle 1, 2, 4, 6, 8 und 10 relativ hohe Koloniezahlen auftreten, bei kälteren Temperaturen

des Fließgewässers im Vergleich zu den Kläranlagenausläufen.

- Bei den drei Untersuchungsreihen warmer Temperatur fallen Temperaturmaxima der beiden Kläranlagenausläufe von Entnahmestelle 5 und 7 bei gleichzeitiger Erhöhung der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien auf, (26,6 Kolonien/l bzw. 50 Kolonien/l). Im Gegensatz dazu zeigt sich bei den drei Untersuchungsreihen kalter Temperatur mit 0 Kolonien/l der niedrigste Wert der kalten Untersuchungsserie.
- Die Temperatur an der Entnahmestelle 9 liegt in den je drei Untersuchungsreihen kalter und warmer Temperatur ebenso wie in der Durchschnittstemperatur weit unter den an den anderen Kläranlagen gemessenen Temperaturen. Gleichzeitig ergeben sich bei Entnahmestelle 9 in den drei Untersuchungsreihen warmer Temperatur mit 133,3 Kolonien/l und für die Durchschnittstemperatur mit 170,7 Kolonien/l extrem hohe Werte in der Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien.

In den drei Untersuchungsreihen kalter Temperatur wird der niedrige Temperaturmittelwert von 6°C auch von einem Abfall der Anzahl fruktifizierender Myxobakterien auf 33,3 Kolonien/l begleitet. Dieses Ergebnis liegt niedriger als die Myxobakterienkoloniezahl im Vorfluter bei Entnahmestelle 8. Die konstant erniedrigten

Temperaturwerte an Entnahmestelle 9 verbunden mit den absoluten Myxobakterienspitzenwerten, lassen auf eine geringe bakterielle Aktivität der biologischen Klärstufe bei Überforderung der Kläranlage durch unregelmäßige stoßweise Fäkalbelastung, schließen.

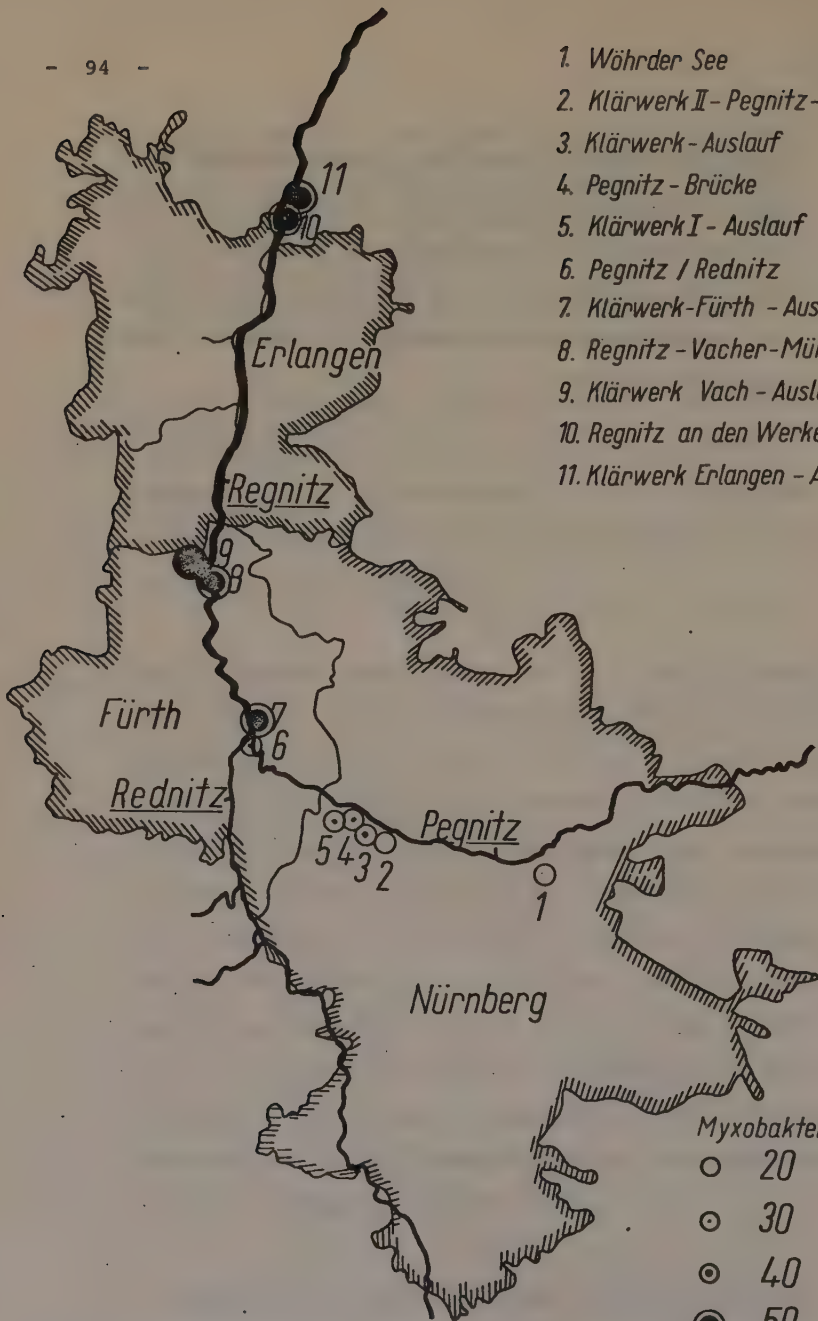
- Im Verlauf der drei Untersuchungsreihen bei warmer Temperatur erreicht Entnahmestelle 10 die Höchsttemperatur der Untersuchungsreihe (21°C), gegenüber Entnahmestelle 8 erfolgt in allen Messungen ein Temperatursprung um etwa 1,5 - 2°C.

Das Myxobakterienvorkommen bleibt in diesem Gewässerabschnitt mit den höchsten Temperaturwerten an Entnahmestelle 10 auf dem Niveau des Vorfluters bei Entnahmestelle 8. Die hohe Flußtemperatur scheint hier nicht zur Begünstigung des Myxobakterienwachstums beizutragen, während für E.coli im Titerbereich von 10^{-2} eine Kumulation mit prozentualer Häufigkeit von 92,6% beobachtet werden kann. In den drei Untersuchungsreihen bei kalter Temperatur steigt bei Entnahmestelle 10 die Anzahl der fruktifizierenden Myxobakterien an (43,3 Kolonien/l). E.coli konnte innerhalb der drei Untersuchungsreihen kalter Temperatur immer im Titerbereich von 10^{-2} nachgewiesen werden.

Insgesamt betrachtet liegen die durchschnittlichen Myxobakterienkolonienzahlen der warmen Untersuchungs-

serie deutlich über denen der Untersuchungsserie kalter Temperaturen (Abbildung 18 und 19). Betrachtet man jedoch die Einzelwerte, so zeigt sich eine große Schwankungsbreite der Koloniezahlen, die keinen Zusammenhang zu den Temperaturschwankungen herzustellen erlaubt.

1. Wöhrder See
2. Klärwerk II - Pegnitz-Flußwasser
3. Klärwerk - Auslauf
4. Pegnitz - Brücke
5. Klärwerk I - Auslauf
6. Pegnitz / Rednitz
7. Klärwerk-Fürth - Auslauf
8. Regnitz - Vacher-Mühle
9. Klärwerk Vach - Auslauf
10. Regnitz an den Werkern
11. Klärwerk Erlangen - Auslauf



Myxobakterien/1l

○ 20

◊ 30

⊙ 40

⊗ 50

● 170

Abbildung 20

In Abbildung 20 wird der Verlauf des untersuchten Gewässerabschnitts der Pegnitz/Regnitz gezeigt und die Lage der regelmäßig gewählten Entnahmestellen.

Die gemittelte Anzahl fruktifizierender Myxobakterien aus 27 Untersuchungsreihen ist halbquantitativ durch konzentrische Ringe an den Markierungspunkten dargestellt.

5. Zusammenfassende Beurteilung

Flußbelastung anhand der direkten und indirekten Fäkalindikatoren

Verfolgt man die Fäkalbelastung des untersuchten Gewässerabschnitts mit Hilfe der indirekten Fäkalindikation durch fruktifizierende Myxobakterien, dann kann man im Vorfluterverlauf einen stetigen Anstieg der Mittelwerte fruktifizierender Myxobakterien beobachten.

Dabei lassen sich hinsichtlich der Belastungsintensität des Vorfluters folgende Gruppen unterscheiden:

- Entnahmestelle 1 mit 18,8 Kolonien/l und Entnahmestelle 2 mit 21,4 Kolonien/l stellen die niedrigsten Myxobakterienmittelwerte des gesamten Ergebnisses dar. Dies spiegelt sich auch beim Colinachweis wider. Im Titerbereich von 10^{-2} erfolgt zwischen Entnahmestelle 1 und 2 noch eine Senkung der prozentualen Häufigkeit in diesem Titerbereich um 3,8%. Dieses Untersuchungsergebnis war allerdings auch zu erwarten, da im Flußverlauf keine größere organische Verunreinigung erfolgte. Im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan wird dieser Gewässerabschnitt der Güteklasse II/III zugeordnet, in diesem Bereich ergeben sich also seuchenhygienisch noch relativ günstige Verhältnisse, die auch in Zukunft eine gute Prognose haben, falls es zu keiner fäkalen Mehrbelastung am Oberlauf der Pegnitz kommen wird.
- Eine akute Verschlechterung der Gewässergüte erfolgt

durch die Fäkalbelastung des Vorfluters durch Klärwerk II und Klärwerk I, Nürnberg. Die Auswirkungen auf den Vorfluter lassen sich an Entnahmestelle 4 und 6 erkennen. Bei der gemittelten Anzahl fruktifizierender Myxobakterien ergab sich für Entnahmestelle 4 mit 27,7 und Entnahmestelle 6 mit 25,5 Kolonien/l eine deutlich höhere Koloniezahl im Vergleich zum Vorfluter bei Entnahmestelle 2 mit 21,4 Kolonien/l.

Die akute Fäkalbelastung durch Klärwerk II, Nürnberg, macht sich beim Colinachweis noch deutlicher als in der Myxobakterienkoloniezahl. Im Vorfluter bei Entnahmestelle 4 kommt es zu einer Kumulation im Titerbereich von 10^{-2} mit prozentualer Häufigkeit von 85,2%. Dies ist für den bisher untersuchten Gewässerabschnitt ein absoluter Maximalwert.

Die hohe Verschmutzung durch die beiden Nürnberger Klärwerke wird in der Erhöhung der Koloniezahl und der Titerverschiebung bei Entnahmestelle 4 sichtbar und zeigt bis zur Entnahmestelle 6 nur einen geringgradigen Abbau.

Der Wasserwirtschaftliche Rahmenplan ordnet dem untersuchten Vorfluterabschnitt bei Entnahmestelle 6 erstmals die Güteklasse IV zu, das bedeutet eine

übermäßige Verschmutzung. In dieser Gruppe mit starker Fäkalbelastung des Vorfluters kommt es zu einer bedenklichen Verschlechterung der Gewässerqualität, das Gleichgewicht zwischen Selbstreinigung und erneuter Verschmutzung des Vorfluters wird empfindlich gestört.

- An den Entnahmestellen 8 und 10 des Vorfluters zeigt sich die extreme Belastung des Gewässers. Mit 36,6 Kolonien/l bei Entnahmestelle 8 und 50,3 Kolonien/l bei Entnahmestelle 10 liegen die Vorfluterergebnisse noch weit über dem schon bei Entnahmestelle 6 stark belasteten Vorfluter. Beim Colinaachweis zeigt sich die Tendenz zur Titerkumulation im Titerbereich von 10^{-2} , der bei Entnahmestelle 10 mit prozentualer Häufigkeit von 92,6% nachgewiesen wurde, ein Spitzenwert in der gesamten Untersuchung. Auch dies weist auf die extreme Verunreinigung des Gewässers und den seuchenhygienisch höchst bedenklichen Zustand hin.

Die weitere Fäkalbelastung des Gewässers wird durch die Fäkaleinleitung vom Klärwerk Fürth (Entnahmestelle 7) und Klärwerk Vach (Entnahmestelle 9) bewirkt. Der Abwasserbelastung durch Klärwerk Fürth ist es zuzuschreiben, daß im Vorfluter Bedingungen geschaffen werden, die zu einer deutlich höheren Anreicherung der fruktifizierenden Myxobakterien führen als vergleichsweise

im Vorfluterabschnitt bei Entnahmestelle 6.

Die extrem hohe Fäkaleinleitung vom Klärwerk Vach ist dafür verantwortlich, daß dieser Anreicherungsprozeß im Fluß bis zu Entnahmestelle 10 noch verstärkt wird. In Abbildung 21 ist die Myxobakterienanreicherung im Vorfluter und Klärwerken getrennt dargestellt, besonders deutlich ist die stetige Zunahme zwischen Entnahmestelle 6, 8 und 10 im Vorfluter.

Entsprechend weisen die Klärwerke Fürth mit durchschnittlich 42,5 Myxobakterienkolonien/l und Vach mit 170,7 Kolonien/l die höchsten gemittelten Myxobakterienwerte der untersuchten Kläranlagenausläufe auf. Die Kläranlage Erlangen (Entnahmestelle 11) bedeutet mit 40,7 Kolonien/l nochmals eine schwere Belastung des übermäßig verschmutzten Fließgewässers. Dem Vorfluter wird vom Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan in diesem Gewässerabschnitt die Güteklasse IV zugeordnet. Mit 50,3 Kolonien/l erreicht der Vorfluter bei Entnahmestelle 10 den höchsten Myxobakterienwert. Gleichzeitig zeigt sich beim Colinachweis an dieser Stelle die größte Verschiebung hin zu hohen Verdünnungen im gesamten Untersuchungsabschnitt. Eine weitere Aufspaltung des Titors konnte wegen der Begrenzung auf den Titerbereich von 10^{-2} nicht weiter verfolgt werden.

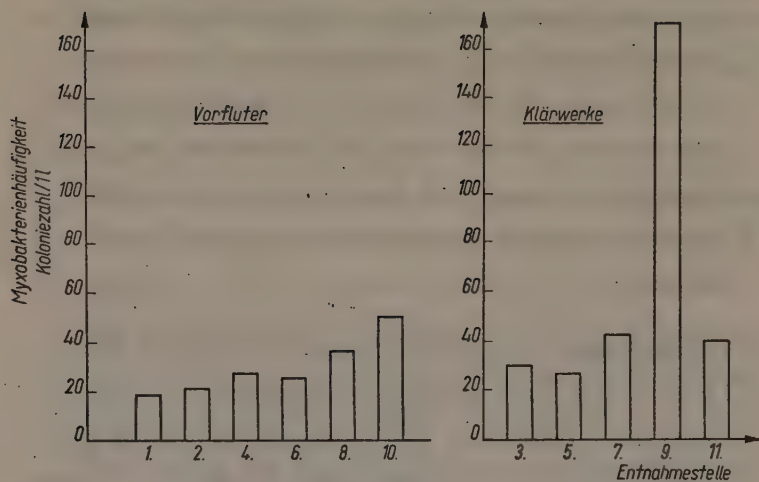


Abbildung 21 zeigt in getrennter Darstellung die gemittelte Myxobakterienanzahl/1 aus 27 Untersuchungsreihen für Vorfluter und Klärwerke.

Die stetig zunehmende Verschmutzung von Pegnitz und Regnitz, die sich in der direkten und indirekten Fäkalindikation ausdrückt, gibt den gewässerbakteriologisch ernsten Zustand des Flusses wieder.

Selbst wenn es in Zukunft zu keiner Mehrbelastung des Flußgebietes kommt, muß der Gütezustand des Gewässers als übermäßig verschmutzt gelten. Um eine Verbesserung der Gewässergüte zu erreichen, wäre eine Verminderung der eingeleiteten Fäkalfracht erforderlich. Geeignete Ansatzpunkte zur Verringerung dieser Flußbelastung sind vor allem die besprochenen Klärwerke mit besonders hoher Fäkalfracht. Auf der untersuchten Fließstrecke zwischen Entnahmestelle 1 und 10 findet zwar ein begrenzter Abbau der eingeleiteten Fäkalfracht statt, reicht aber keineswegs aus, um die massive Belastung durch die Kläranlagenabwässer auszugleichen.

Die Anforderungen, die in Zukunft an die Gewässergüte dieses Flußabschnitts gestellt werden, werden wohl bestimmend sein für die Intensität der Bemühungen um eine Verbesserung der Flußbelastung.

6. Literatur

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG
UND UMWELTFRAGEN (Hrsg.):
Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz, Band I - III,
München 1974

BELING, A., THON, D. und LOOS, K.
Verwendung der Membranfiltermethode für die Überprüfung
der Wirkungsweise biologischer Abwasserreinigungsanlagen

BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT MANNHEIM/WIEN/ZÜRICH
MEYERS LEXIKON VERLAG
Die Umwelt des Menschen, Mannheim 1975

DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN zur Wasser-, Abwasser- und
Schlammuntersuchung
Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße

GEUSS, O.: "Hydrobiologische Untersuchungen zur Limnologie
der Rednitz im Bereich Schwabach/Fürth"
Zulassungsarbeit, Erlangen 1978

GRÄF, W.: Myxobakterien der Gattung Myxococcus als in-
direkte Fäkalindikatoren in Oberflächengewässern
Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. B 160, 28-39 (1975)

KÜHLWEIN, H:
Neuere Untersuchungen über Myxobakterien
Zbl. Bak. Hyg. I Abt. Orig. 158, 346 (1952)

Herrn Professor Dr. Dr. W. Gräf möchte ich für
die Überlassung des Themas, für die Arbeitsmög-
lichkeit in seinem Institut und die vielfältigen
und wertvollen Anregungen recht herzlich danken.

Lebenslauf

Am 23. April 1954 wurde ich als Tochter des Dr.-Ing. Alfred Pohl und der Ehefrau Johanna, geb. Friedrich, in Darmstadt geboren.

Vom Sommer 1960 an besuchte ich die Volksschule in Aschaffenburg, Wuppertal und Glückstadt. Anschließend trat ich in das Detlefsen-Gymnasium in Glückstadt, Schleswig-Holstein, ein.

1970 zog ich nach Fürth und legte hier das Abitur am Helene-Lange-Gymnasium ab.

Bis zur Zulassung zum Medizinstudium im März 1974 studierte ich ein Semester Physik an der Universität Erlangen-Nürnberg.

Das Medizinstudium begann ich im Sommersemester 1974 in Erlangen, legte das Physikum am 26. März 1976 ab, den ersten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung im März 1977.

Am 15. März 1979 absolvierte ich den zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in Erlangen.

Den schriftlichen Teil des dritten Abschnitts der Ärztlichen Prüfung legte ich am 10. April 1980 (laut Mitteilung vom 23.04.80 mit 89,4 %) ab, den mündlichen Teil am 14. April 1980.

Gabriele Pohl

